

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

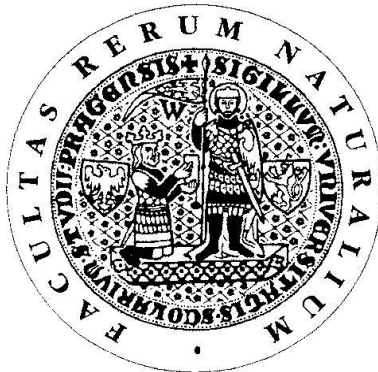
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie životního prostředí

**Způsoby čištění městských odpadních vod a možnosti využití vyčištěné vody**

Methods of treatment of urban waste water and the possibility of using treated water



Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libuše Benešová, CSc.

Autor:

Charalambous Panagiotis

Praha 2012

**Jméno a příjmení autora:** Charalambous Panagiotis

**Název bakalářské práce:** Způsoby čištění městských odpadních vod a možnosti využití vyčištěné vody

**Název práce v angličtině:** Methods of treatment of urban waste water and the possibility of using treated water

**Katedra:** Ústav pro životní prostředí PřF UK

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Libuše Benešová, CSc.

**Rok obhajoby:** 2012

***Prohlášení:***

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Libuše Benešové, CSc., a že řádně cituji všechny převzaté informace a skutečnosti.

V Praze dne.....

Charalambous Panagiotis

***Poděkování:***

*Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí práce Ing. Libuše Benešové, CSc. za to, že mi umožnila pracovat na tak zajímavém tématu a dále za její odbornou pomoc a velkou trpělivost.*

*Nicméně největší poděkování patří mé rodině, která mi studium na vysoké škole umožnila a po celou dobu mě podporovala.*

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKTRATEK

<b>OV</b>	- odpadní vody
<b>ČOV</b>	- čistírna odpadních vod
<b>KČOV</b>	- kořenová čistírna odpadních vod
<b>BSK</b>	- biochemická spotřeba kyslíku (Biochemical oxygen demand BOD)
<b>CHSK</b>	- chemická spotřeba kyslíku (Chemical oxygen demand COD)
<b>TOC</b>	- celkový organický uhlík (Total organic carbon)
<b>ADP</b>	- Adenosindifosfát
<b>ATP</b>	- Adenosintrifosfát
<b>RDR</b>	- rotační diskové reaktory
<b>RKR</b>	- rotační klecové reaktory
<b>MBR</b>	- membránové biologické reaktory
<b>PVC</b>	- polyvinylchlorid
<b>P<sub>org</sub></b>	- organicky vázaný fosfor
<b>P<sub>ortho</sub></b>	- fosfor ve formě anorganických orthofosfátů
<b>P<sub>poly</sub></b>	- fosfor ve formě anorganických polyfosfátů
<b>CHSK<sub>Cr</sub></b>	- stanovení CHSK dichromanem draselným
<b>CHSK<sub>Mn</sub></b>	- stanovení CHSK manganistanem draselným (Kubelova metoda)
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	- dichroman draselný
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	- amoniakální dusík
<b>N-NO<sub>2</sub></b>	- dusitanový dusík
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	- dusičnanový dusík
<b>TUV</b>	- teplá užitková voda
<b>RDR</b>	- rotační diskové reaktory
<b>RKR</b>	- rotační klecové reaktory

## **ABSTRAKT**

Žijeme v období, kdy čištění odpadních vod se stává stále nutnější, kvůli omezení vodních zdrojů a kvůli rostoucí ceně pitné vody jakož i úbytku podzemních vod. Čištění odpadních vod pro opětovné využití je velice důležité speciálně v zemích a oblastech, kde se projevují problémy se zásobováním vody. Je tedy nutné využít i jiné vodní zdroje k účelům, pro které není potřeba kvalitní pitná voda nebo v lokalitách, kde voda není dostupná, pomoci nových přijatelných technologií.

Tato bakalářská práce obsahuje kompletní studium několika různých metod a technologií, které se používají dnes k čištění odpadních vod s důrazem na městské odpady. Dále tato práce poukazuje na možné využití těchto vyčištěných vod v mnoha aspektech.

**Klíčová slova:** městské vody, aktivace, biologické filtry

## **ABSTRACT**

Nowadays, wastewater treatment is becoming increasingly necessary due to the reduction of water resources, the increasing price of drinking water, as well as the shrinking underground water reserves. The treatment of wastewater for reuse and disposal is particularly important for countries and regions which suffer from drinking water shortage. Thus, it is vital to find sustainable solutions for the better protection of the environment and also to improve the water's quality by adapting new and more efficient technologies.

This bachelor thesis contains a comprehensive study of different methods and technologies that are used today for the wastewater treatment, with a specific emphasis on urban wastewaters. Furthermore, it examines the post-treated wastewater management, including possible ways of reusing them in many aspects.

**Keywords:** urban wastewater, activation process, biofilters

## OBSAH

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>-08-</b>
<b>2. VODA.....</b>	<b>-09-</b>
2.1 Funkce vody v přírodním prostředí .....	-09-
2.2 Rozdělení vody na Zemi .....	-10-
2.3 Dělení vody dle jejího výskytu .....	-11-
2.4 Dělení vody dle jejího použití .....	-12-
2.5 Zdroje znečištění přírodních vod .....	-13-
<b>3. ODPADNÍ VODY .....</b>	<b>-14-</b>
3.1 Druhy odpadních vod.....	-14-
3.1.1 Splaškové (Komunální) odpadní vody .....	- 14 -
3.1.2 Průmyslové odpadní vody .....	- 14 -
3.1.3 Městské odpadní vody.....	- 15 -
3.1.4 Srážkové odpadní vody .....	- 15 -
3.2 Složení odpadních vod .....	- 16 -
3.2.1 Organické látky v odpadních vodách .....	- 16 -
3.2.2 Anorganické látky v odpadních vodách .....	- 18 -
<b>4. ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD .....</b>	<b>- 19 -</b>
4.1 Předčištění odpadních vod .....	- 20 -
4.2 Primární (Mechanické) čištění .....	- 20 -
4.3 Sekundární (Biologické) čištění .....	- 20 -
4.3.1 Biologické čištění v aerobních podmínkách .....	- 20 -
4.3.1.1 Aktivační proces .....	- 21 -
4.3.1.2 Biofilmové reaktory (biofiltry) .....	- 21 -
4.3.1.3 Membránové biologické reaktory (MBR) .....	- 23 -
4.3.1.4 Kořenová čistírna odpadních vod KČOV .....	- 24 -
4.3.2 Biologické čištění v anaerobních podmínkách .....	- 25 -
4.4 Terciální čištění- odstraňování (nutrientů) z odpadních vod .....	- 26 -
4.4.1 Biologické odstraňování dusíku .....	- 26 -
4.4.2 Chemické odstraňování fosforu .....	- 28 -
4.4.3 Biologické odstraňování fosforu.....	- 28 -

<b>5. OPĚTOVNÉ VYUŽITÍ VYČIŠTĚNÉ ODPADNÍ VODY.....</b>	<b>- 29 -</b>
5.1 Oblasti použití vyčištěné odpadní vody .....	- 30 -
5.2 Opětovné využití šedých a dešťových vod.....	- 31 -
<b>6. ZAVĚR.....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>- 35 -</b>

## 1. ÚVOD

Jedna z nejdůležitějších součástí Země, díky které existuje i život na rozdíl od ostatních planet je voda (Mottl et al., 2007). V dnešní době člověk využívá vodu při většině svých činností. Přírodní voda se nachází v útvaru povrchové (na zemském povrchu) nebo podzemní vody, kde její množství v každém státu je závislé na jejích srážkách (Winter et al., 1999). Tato nesmírně důležitá kapalina má celou řadu využití a to především jako pitná voda nebo k zavlažování.

Během používání vody dochází k jejímu znečišťování, která je známá jako voda odpadní. Znečištění vody je změnou fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, která ovlivňuje (omezuje nebo znemožňuje) její použití k danému účelu. Takové znečištění vzniká v cyklu užití vody v domácnostech, komunálních službách, průmyslu a zemědělství (Dohányos et al., 2007). Její znečištění je většinou antropogenního původu (např. osobní hygiena, mytí nádobí, úklid ad.). Tato voda vypouštěná do povrchových vod způsobuje nejen estetické problémy, ale především vnáší do zdroje organické látky, toxiny, patogenní mikroorganismy a další látky (Pitter 2009), které působí negativně na vodní ekosystém. Podle vývoje produkovaného a vypouštěného znečištění se nejčastěji hodnotí úroveň ochrany vod před znečištěním.

Velká spotřeba škodlivých látek v současné době způsobujících znečištění vody má za následek vzrůst nebezpečí, ovlivňuje kvalitu vodních zdrojů, a proto vzniká požadavek na čištění použitých vod s cílem ochránit životní prostředí tak, aby bylo těmito vodami zasaženo v co nejmenší míře (Asano a Levine 1996). Nejdůležitější procesy, které člověk používá na čištění odpadních vod, jsou mechanické odstranění větších částí nerozpuštěných látek, dále fyzikálně-chemické a především biologické způsoby rozložení rozpuštěných látek (Fuka 1997).

Problematika čištění odpadních vod jak splaškových, dešťových, městských, tak i průmyslových, je v dnešní době velmi aktuálním tématem. Počátek čištění odpadních vod sahají až do dob starověkého Řecka a Říma (Angelakis et al., 2005, Lofrano a Brown 2010). Ve středověku nastala katastrofální situace a jako stoky sloužily ulice samy, které byly čištěny pouze před velkými církevními svátky. Zlepšení přišlo až na přelomu 16. a 17. století, kdy splašky byly odváděny nejkratší cestou přímo do řek, jezer nebo moří.

Cílem této bakalářské práce je nejprve popsat způsoby čištění městských odpadních vod a dále uvést možné využití těchto vyčištěných vod.



## 2. VODA

Voda je nezbytnou součástí života a společně se vzduchem tvoří základní podmínky pro existenci a vývoj všech životních forem na Zemi (Rothschild a Mancinelli 2001, Alpert 2005). Ve starém Řecku ji považovali za jeden ze čtyř mocných elementů (voda, vzduch, země, oheň), bez nichž by život nebyl možný (Angelakis et al., 2005). Pro obyvatelstvo je strategickou surovinou, proto si svá obydlí vždy stavěli v blízkosti vodních zdrojů. Vyskytuje se trvale v zemské atmosféře, na povrchu i pod povrchem. Mezi povrchové vody patří vody potoků, řek, rybníků, jezer a tak dále (Winter et al., 1999). Voda dodnes tvoří převažující část všeho živého. Lidské tělo je tvořeno vodou ze 70 % a bez vody nedokáže přežít déle než, několik málo dnů, tělo savců obsahuje 70-80 % vody a u rostlin činí voda podle druhu 5-95%. K životu je potřeba 2,5 až 3 litry biologicky hodnotné vody, včetně vody přítomné v potravinách. Tato chemická sloučenina vodíku a kyslíku je pro nás tedy nepostradatelná.

Voda je za normálních podmínek (teplota a tlak) bezbarvá kapalina, bez chuti a bez zápachu. Může se vyskytovat ve třech skupenských stavech. Jde o skupenství kapalné (např. řeky, jezera, oceány, atd.), pevné (např. led, sníh) a plynné (vodní para) (Boari et al., 1997, Manahan 2009).

### 2.1 Funkce vody v přírodním prostředí

Nejvýznamnějšími funkcemi vody z hlediska životního prostředí člověka jsou:

#### Biologická funkce

Biologická funkce je dána tím, že organismy nezbytně potřebují vodu pro svou existenci a rozvoj. Voda je základním komponentem všech našich buněk. Představuje základní látku pro 95% všech procesů v našem metabolismu. (www.vodavoda.cz). Lidský organismus obsahuje 70 % a rostliny až 90 % vody. Člověk sám jako živočišný druh obsahuje 3 dny po narození 97% vody, po osmi měsících 81 % a ve stáří 65% až 70 % vody. Podle biologické funkce je voda základní nezastupitelnou složkou biomasy (Sobota 2005).

#### Zdravotní funkce

Voda má především nezaměnitelnou funkci zdravotní. Ta se netýká jen toho nejdůležitějšího, čímž je přímá konzumace vody, ale také její nezbytností pro zajištění osobní i veřejné hygieny člověka, pro jeho rekreaci (např. mytí, čištění, odstraňování odpadků, k vytápění, klimatizaci, kropení a mytí vozovek) (Sobota 2005). Umožňuje v široké míře rekreaci, provozování vodních sportů a aktivní odpočinek člověka.

#### Kulturní a estetická funkce

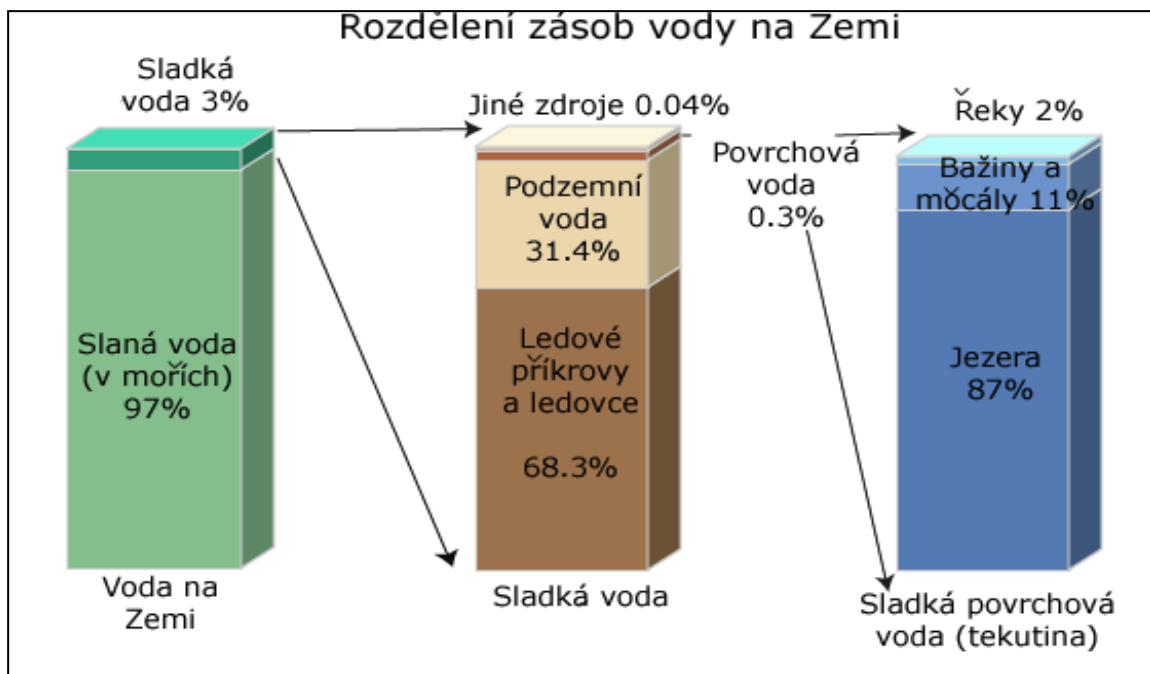
Tato funkce spočívá v jejím obecném přínosu ke zkrášlení krajiny. Krajinné oblasti s nedostatkem přirozené vláhly lze zkulturnit jen za cenu umělého přivedení vody ze vzdáleného zdroje. Aridní oblasti se potom mění v kulturní a hospodářsky prosperující krajiny (Sobota 2003).

## Energetická funkce

Kromě výše uvedených funkcí se voda využívá jako přírodní zdroj energie. Tato látka je nositelem mechanické i tepelné energie. Mechanická energie vody je členěna na energii ledovců, atmosférických srážek, vodních toků a moří. U ledovců vychází z jejich ohromných hmot, u srážek spočívá v úhrnu srážek, které spadnou každoročně na povrch země, a u moře se projevuje ve formě vlnění. Tepelná energie vody může být technicky využita v tepelných čerpadlech, kde se využívá princip vyrovnání teplot při tepelném spádu (Sobota 2003).

## **2.2 Rozdělení vody na Zemi**

Planeta Země bývá často označována jako „modrá planeta“ (Winter et al., 1999). Voda pokrývá dvě třetiny povrchu Země. Přes 97 % slané vody je vázáno ve světovém oceánu, na sladkou vodu pak připadají necelá 3 % (Manahan 2009). Největší množství sladké vody (více než 68%) je uloženo v ledovcích a sněhové pokrývce v horských pásmech. Dalších 30 % sladké vody se nachází pod povrchem zemské kůry. Pouze 0,77% z celkového objemu sladké vody je smysluplně využitelných (UNEP 2007). Zbytek objemu je v řekách, jezerech a bažinách. (Obr. 1). Celkový objem vody ve světě se odhaduje na 1,337 miliardy km<sup>3</sup> (<http://ga.water.usgs.gov>, Václavík et al., 2010).



**Obrázek 1:** Rozdělení zásob vody na Zemi. (<http://ga.water.usgs.gov>)

## 2.3 Dělení vody dle jejího výskytu

### Povrchové vody

Podle úplného znění zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů jsou povrchové vody vymezeny následovně. „*Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky.*“ Povrchové vody se přirozeně vyskytují na zemském povrchu, dělí se na stojaté a tekoucí. Znečištění povrchových vod lze rozdělit na 3 typy. Prvním je autochtonní znečištění, vyvolané odumřelými organismy rostlinného a živočišného původu, dále pak splachy z území obývaného člověkem a srážkovou vodou znečištěnou přírodními činiteli (Pošta et al., 2005).

Povrchové vody, ve srovnání s vodou podzemní, mají obvykle vyšší proměnlivou teplotu, obsahují podstatně vyšší koncentrace organických látek různého původu, vyšší koncentrace kyslíku, nízkou koncentraci oxidu uhličitého a hydrolyzujících kovů, zejména pak železa a manganu (Šálek a Tlapák 2006).

### Podzemní vody

Podle úplného znění zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů jsou podzemní vody vymezeny následovně. „*Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami, za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních.*“

Jakost podzemních vod ovlivňuje řada přírodních procesů, které v těchto vodách probíhají (Dohányos et al., 2007). Jedná se například o vyluhování minerálních a organických složek z půd, vylučování nerozpuštěných sraženin ze složek přítomných ve vodě, adsorpce i desorpce již rozpuštěných látek v půdě. Všechny tyto procesy jsou doprovázeny dalšími chemickými reakcemi. (Pošta et al., 2005, Václavík et al., 2010).

### Atmosférické vody

Atmosférickými vodami se rozumí veškerá voda v ovzduší bez ohledu na skupenství. Pojem srážky se pak nazývá výsledek kondenzace vodních par v ovzduší. Srážky jsou kapalné (déšť, mrholení, rosa, mlha) nebo pevné (sníh, kroupy, námraza, jinovatka) (Bumerl 2003, Václavík et al., 2010).

Atmosférické vody závisí na složení atmosféry a jejím znečištění (Pošta et al., 2005). Kromě základních složek jsou v ovzduší vždy přítomny cizí látky tuhé, kapalné a plynné, které ovlivňují kvalitu ovzduší. Hlavní zdroje znečištění ovzduší dělíme podle přírodního nebo antropogenního původu. Mezi přírodní zdroje znečištění patří exhalace vulkanického typu a z rozkladu živočišných a rostlinných zbytků a další. Znečištění antropogenního původu zahrnuje emise ze spalování fosilních paliv, z průmyslových závodů, prach z rudných úpraven a jiné. (Pitter 2009).

## 2.4 Dělení vody dle jejího použití

### Pitná voda

Podle zákona č. 258/2000 Sb. a vyhlášky Ministerstva zemědělství České republiky č. 252/2004 Sb. je pitná voda definována jako: „Zdravotně nezávadná voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá poruchy zdraví nebo onemocnění přítomnosti mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva, jejíž smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu požívání a užívání pro hygienické potřeby fyzických osob“.

Zdroji pitné vody jsou buď povrchové vody (vodní toky, nádrže, jezera) nebo vody podzemní ([www.pijtezdravouvodu.cz](http://www.pijtezdravouvodu.cz)) Při posuzování jejich vhodnosti k tomuto účelu se provádí pomocí mikrobiologických, chemických, biologických a dalších ukazatelů. U jednotlivých ukazatelů se stanovují nejvyšší mezní hodnoty, mezní hodnoty, indikační hodnoty a hodnoty přijatelného rizika. Mezní hodnotou (MH) je většinou horní hranice rozmezí přípustných hodnot, jejímž překročením ztrácí voda vyhovující jakost v příslušném ukazateli. Mezní hodnota přijatelného rizika (MHPR) charakterizuje zpravidla pozdní toxické účinky (karcinogen, mutagen). Nejvyšší mezní hodnota (NMH) stanovuje hodnotu příslušného ukazatele, jejíž překročení vylučuje užití vody jako pitné. Indikační hodnota (IH) je užívaná k rozhodování o potřebě podrobnějšího vyšetření jakosti vody (Pitter 2009). Podle požadavků na pitnou vodu, které jsou stanoveny vyhláškou č. 252/2004 Sb. pitná voda nesmí být v prostředí, ve kterém se vyskytují patogenní mikroorganismy a toxické látky. Musí mít vyhovující organoleptické vlastnosti (teplota 10-20 °C, barva, osvěžující chuť, bez zápachu). V neposlední řadě musí vyhovovat technickým normám vodáren.

### Užitková voda

Voda používaná k jiným účelům než k pitným (např. ve výrobě, ke koupání, chlazení) (Žabička 2003). Tato voda musí být zdravotně nezávadná, ve srovnání s pitnou vodou však její fyzikálně-chemické vlastnosti mohou být horší. Užitková voda se čerpá z podzemních i povrchových zdrojů a neobsahuje látky poškozující zdraví (Pitter 2009). Neměla by se používat jako pitná voda, přípravě potravy a k mytí nádobí.

### Provozní voda

Provozní voda (technologická) je užitková voda, používaná v průmyslu a zemědělství k různým účelům (např. k mytí zařízení, napájení kotlů, atd.). Podle účelu použití může mít provozní voda různý obsah rozpuštěných i nerozpuštěných látek. Limitní obsah látek je závislý na požadavcích technologie. Vhodnost použití se posuzuje pro každý případ zvlášť. Provozní vodou je například přefiltrovaná dešťová voda, která je používaná pro zalévání zahrad a splachování toalet (Žabička 2003).

## **2.5 Zdroje znečištění přírodních vod**

### Bodové zdroje znečištění

Bodové zdroje znečištění přinášejí do vodního toku řadu látek v jednom konkrétním proudu, jehož ústí do vodního toku, resp. vodní nádrže je jednoznačně lokalizováno (Švehla et al., 2007). Bodové zdroje znečištění jsou zejména komunální zdroje, tj. města a obce, které vypouštějí odpadní vody od obyvatelstva, z občanských domácností a odpadní vody z průmyslu, připojeného na veřejnou kanalizaci do povrchových vod (Černá et al., 2003).

### Plošné zdroje znečištění

Plošným znečištěním se rozumí znečištění, které se do povrchových vod dostává především splachem z okolní zemědělsky obdělávané půdy, případně aplikací rozstříkem nebo atmosférickou depozicí či znečištění z rozptýlených zdrojů splaškových vod (Švehla et al., 2007). Plošným znečištěním dochází ke kontaminaci vod zejména dusíkem, fosforem a pesticidy. Plošné znečištění je jedním z nejvýznamnějších vlivů, které určuje výslednou jakost vod a tím i stav vodních útvarů. Problematika plošného znečištění je úzce spjata s plošnou vodní erozí. Ta má za následek nejen snižování orní vrstvy půd, ale i zhoršování jejich fyzikálních a chemických vlastností a zhoršení vodního režimu (Černá et al., 2003).

### Havarijní znečištění

Havárií je podle vodního zákona (č. 254/2001 Sb) mimořádné závažné ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod.

Za havárii se vždy považují případy závažného zhoršení nebo mimořádného ohrožení jakosti povrchových a podzemních vod nebezpečnými kontaminanty, jako jsou například ropné látky, radioaktivní zářiče a odpady, nebo dojde-li ke zhoršení nebo ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod v chráněných oblastech přirozené akumulace nebo v ochranných pásmech vodních zdrojů (Černá et al., 2003). Dále se za havárii považují případy technických poruch a závad zařízení k zachycování, skladování, dopravě a odkládání látek výše uvedených.

### 3. ODPADNÍ VODY

Podle zákona 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon) jsou odpadní vody definovány jako vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných staveb, zařízeních a dopravních prostředků, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z nich odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod.

Účelem zákona je:

- Ochrana povrchových a podzemních vod
- Stanovení podmínek pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod
- Vytvoření podmínek pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajištění bezpečnosti vodních děl
- Úprava právních vztahů k povrchovým a podzemním vodám
- Vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod
- Vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt vod souvisí

#### 3.1 Druhy odpadních vod

Z hlediska původu a způsobu znečištění odpadních vod, které skončí v ČOV, se rozlišuje na následující skupiny:

##### 3.1.1 Splaškové (Komunální) odpadní vody

Splaškové odpadní vody (splšky) jsou odpadní vody z domácností (kuchyní, toalet, koupelen a umýváren) a sociálních zařízení závodů (školy, restaurace, hotely, kulturní zařízení, apod.) (Bindzar et al., 2009, Marcos von Sperling 2007). Tyto splaškové odpadní vody jsou znečištěny organickými i anorganickými látkami a vyskytují se v nich různé mikroorganismy (Žabička 2005). Jedná se o živé i neživé organismy přicházející do odpadní vody (např. voda pocházející z úklidu nemocničních prostorů). Splaškové vody jsou proto velice rizikové z hlediska jejich infekčnosti. Tento typ odpadních vod je většinou závadný sensoricky (vzhledově a pachem), vždy pak hygienicky. Barevně je šedavý až hnědý s vysokým množstvím rozpuštěných látek a také rozptýlených nerozpuštěných látek. Hlavní podíl znečišťujících látek splaškových odpadních vod připadá na moč a fekálie, a proto jsou tyto vody značně zakalené (Pitter 2009, Chudoba et al., 1991).

##### 3.1.2 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody jsou změněné a znečištěné použitím v průmyslu, zemědělství nebo v drobných provozech. Obsahují velké množství různých látek o rozdílných koncentracích (Žabička 2005). Na rozdíl od splaškových odpadních vod mají velmi rozmanitý charakter a složení.

Kvalita a kvantita průmyslových odpadních vod závisí na činnosti příslušného průmyslového odvětví (Chudoba et al., 1991). V každém odvětví se vyskytuje několik druhů odpadních vod, které se liší svými vlastnostmi. Mezi hlavní druhy odpadních vod řadíme technologické, kam zahrnujeme vodu přímo použitou v průmyslové výrobě nebo chladicí, kde je používána voda na chlazení zařízení. (Dohányos et al., 2007). Na základě charakteru znečišťujících látek dělíme průmyslové odpadní vody na převážně organicky či anorganicky znečištěné. Anorganické látky se ve znečištěných odpadních vodách objeví v nerozpuštěné nebo v rozpuštěné formě a mohou být toxické či netoxické. Organické látky pak jsou nerozpuštěné, nebo rozpuštěné a dělí se do čtyř skupin. První skupinou jsou netoxické a biologicky rozložitelné látky (sacharidy, bílkoviny, tuky, alifatické kyseliny a jejich deriváty), dále pak netoxické a obtížně biologicky rozložitelné látky (organická barviva, vysokomolekulární polyglykoly, alifatické a aromatické sloučeniny). Třetí kategorie obsahuje toxické a biologicky rozložitelné látky (fenoly, organofosforové sloučeniny, chlorfenoly, nitrofenoly) a v poslední řadě jsou to látky toxické a biologicky obtížně rozložitelné (chlorované uhlovodíky, nitroaniliny, kationtové tenzidy) (Švehla et al., 2007).

### **3.1.3 Městské odpadní vody**

Městské vody jsou většinou směsí splaškových vod a průmyslových odpadních vod. Tato směs přichází kanalizací do ČOV. Pokud není v daném městě žádný průmysl, jsou městské odpadní vody pouze vodami splaškovými (Chudoba et al., 1991). V posledních letech však většina městských odpadních vod obsahuje i vody průmyslové (např. pivovarské, mlékárenské, jateční aj.) (Švehla et al., 2007). Do městských odpadních vod patří také vody dešťové a vody odváděné kanalizací například z čištění ulic a veřejných míst. U velkých měst převládající podíl tvoří vody splaškové, u malých měst složení odpadních vod závisí na podílu průmyslu (Pošta et al., 2005).

### **3.1.4 Srážkové odpadní vody**

Srážkové odpadní vody vznikají z atmosférických srážek, které se přivádí do kanalizace pomocí uličních a chodníkových vpustí nebo dešťovými svody. Jejich složení závisí na mnoha faktorech, jako jsou hydrometeorologické poměry, charakter povrchu a intenzita srážek (Švehla et al., 2007). V případě že srážkové vody jsou odváděné prostřednictvím kanalizace, pak je jejich složení závislé na kvalitě ovzduší (hlavně kvalita suché a mokré depozice). Důležitým faktorem, který může ovlivnit složení srážkových vod je také roční období a to tak že, např. v zimním období se do kanalizace dostávají velké množství solí, které pak působí zvýšený obsahu chloridu. Dále tyto odpadní vody mohou obsahovat chemické látky (oxidy uhlíku nebo dusíku) ale i pyl, bakterie nebo viry, popř. stopy ropných nebo jiných chemických látek (Žabička 2005).

### 3.2 Složení odpadních vod

Odpadní vody jsou složeny z velmi rozmanitých látek, které lze dělit z fyzikálního a chemického hlediska (Švehla et al., 2007, Bindzar et al., 2009). Z fyzikálního hlediska se dělí hlavně na látky obsažené v odpadních vodách rozpuštěné a nerozpuštěné (neusaditelné, usaditelné a vzplývavé). Z chemického hlediska se látky vyskytující v odpadních vodách dělí na organické (proteiny, sacharidy, povrchově aktivní látky, fenoly a pesticidy) a anorganické (dusík, fosfor, těžké kovy, toxické látky atd.) (Tab. 1).

**Tabulka 1:** Přehled znečišťujících látek v odpadních vodách.(Pošta et al., 2005)

rozpuštěné	organické	biologicky rozložitelně		cukry, mastné kyseliny
		biologicky nerozložitelně		Barviva
	anorganické			těžké kovy, sulfidy
nerozpuštěné	organické	biologicky rozložitelně		škrob, bakterie
		biologicky nerozložitelně		plasty, papír
		usaditelné		celulosová vlákna
		neusaditelné	koloidní	Bakterie
			plovoucí	Papír
	anorganické	usaditelné		písek, hlína
		neusaditelné		brusný prach

#### 3.2.1 Organické látky v odpadních vodách

Organické látky ve vodě mohou být jak přírodního, tak i antropogenního původu. Mezi přírodní organické látky pocházející především z půdy a sedimentů patří zejména nízkomolekulární organické kyseliny, sacharidy, proteiny, bílkoviny a další. Organické látky antropogenního původu vznikající ze splaškových městských, popř. průmyslových vod, lze řadit látky typu uhlovodíky, organické halogenderiváty, fenoly, tenzidy, pesticidy, léčiva a jiné (Pitter 2009).

Výše uvedené organické sloučeniny vyskytující se v odpadních vodách mohou výrazně ovlivnit některé chemické a biologické vlastnosti vody. Příkladem mohou být mutagenní nebo alergenní účinky (Marcos von Sperling 2007, Pitter 2009). Pro snazší a rychlou orientaci v posouzení znečištění odpadní vody byly zavedeny hodnoty, kterými se vyjadřuje množství organických látek (Huang et al., 2010). Tyto hodnoty se používají pro zlepšení kvality odpadních vod. Pro stanovení množství organických látek ve vodě, se používá biochemická spotřeba kyslíku (BSK), chemická spotřeba kyslíku (CHSK) a celkový organický uhlík (TOC).



### Biochemická spotřeba kyslíku BSK (BOD)

Biochemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy pro rozklad organických látek za aerobních podmínek (Herle a Bareš 1990, Pošta et al. 2005). Toto množství kyslíku je úměrné koncentraci přítomných biologicky rozložitelných organických látek (tzn. obsah pouze látek biologicky rozložitelných) (Chudoba et al., 1991). Tím vzniká, že hlavní rozdíl mezi BSK a CHSK je, že v CHSK jsou zahrnuty vedle látek rozložitelných, také i látky nerozložitelné. Nejběžnější standardizovanou metodou používanou po celém světě je BSK<sub>5</sub>, při které se stanoví biochemická spotřeba kyslíku zředovací metodou v průběhu pěti dnů, za aerobních podmínek a při teplotě 20°C. BSK závisí na době inkubace a na mnoha dalších faktorech, jako je např. teplota při inkubaci, druh, koncentrace a stupeň adaptace mikroorganismů provádějících rozklad, pH prostředí a další (Horáková et al., 2007). Hodnota BSK se vyjadřuje v mg/l (jako množství O<sub>2</sub> v mg na jeden litr analyzované odpadní vody) (Rastogi et al., 2003).

### Chemická spotřeba kyslíku CHSK (COD)

Chemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku odpovídající spotřebě oxidačního činidla při úplné oxidaci organických látek obsažených ve vodě (Pošta et al., 2005, Vyrides a Stuckey 2009). Jako oxidační činidlo bývá používán dichroman draselný (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), pak mluvíme o chemické spotřebě kyslíku dichromanovou metodou (CHSK<sub>Cr</sub>), nebo manganistan draselný (KMnO<sub>4</sub>) v kyselém prostředí, pak hovoříme o chemické spotřebě manganistanovou metodou (CHSK<sub>Mn</sub>). V dnešní době je stále více používána dichromanová metoda než s manganistanem protože zajišťuje dokonalou oxidaci většiny organických látek a je dobře reprodukovatelná. Hodnoty CHSK<sub>Cr</sub> bývají u všech druhů vod větší než hodnoty CHSK<sub>Mn</sub>. Za daných podmínek (vyšší teplota při oxidaci, vyšší koncentraci oxidačního činidla, delší reakční dobu a Ag<sup>+</sup> jako katalyzátor) se touto metodou organické látky oxidují na 90 až 100 % (Viana da Silva et al., 2011). V některých průmyslových odpadních vodách a prakticky ve všech povrchových, včetně i pitné vody, se používá metoda založená na oxidaci manganistanem tzv. Kubelova metoda. Touto metodou se většina látek oxiduje jen nepatrně. Obvykle CHSK se udává v mg/l (rozumí se mg kyslíku odpovídajícího podle stechiometrie spotřeby oxidačního činidla na 1 litr vody) (Horáková et al., 2007).

### Celkový organický uhlík TOC

Celkový organický uhlík je parametr, který ukazuje množství rozpuštěné a nerozpuštěné organické látky obsažené ve vodě (Visco et al., 2005, Dohányos et al., 2007). Tento parametr je udáván v miligramech uhlíku na jeden litr vody. V průběhu posledních let se význam parametru TOC v analýze odpadních vod výrazně zvýšil. Zvláště ve spojení s CHSK tento parametr poskytuje důležité informace o typu a původu organických zátěží v odpadních vodách. Výhodou stanovení organického uhlíku oproti metodě CHSK je úplná oxidace organických látek při termickém spalování až na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a proto postihuje širší spektrum organických látek než CHSK (Horáková et al., 2007). Oxidace lze dosáhnout dvojím způsobem. Termickou oxidací při teplotách 900°C až 1000°C za přítomnosti katalyzátoru nebo oxidací mokrou cestou (chemickou nebo fotochemickou). Obě stanovení (CHSK a TOC) mají svůj specifický význam (Pitter 2009). V některých případech může mít dominující význam stanovení CHSK vyjadřující kvantitu organických látek v kyslíkových ekvivalentech potřebných na jejich oxidaci. CHSK se používá zejména tam, kde je potřeba posuzovat kyslíkovou bilanci, jako je tomu při hodnocení jakosti povrchových vod a při

biologickém čištění odpadních vod. Naopak stanovení TOC lze využít tehdy, když kyslíková bilance nemá dominující roli, například při analýze pitných, užitkových a podzemních vod.

### 3.2.2 Anorganické látky v odpadních vodách

Anorganické látky, které jsou obsaženy v odpadních vodách, se obvykle stanovují jako obsah iontů a solí v jejím zdroji. V současné době je čištění odpadních vod zaměřeno především na snížení obsahu dusíku, solí fosforu a těžkých kovů v těchto vodách (Žabička 2005).

#### Sloučeniny fosforu

Celkový fosfor se ve vodách vyskytuje jednak jako organicky vázaný ( $P_{org}$ ) a jednak ve formě anorganických polyfosfátů ( $P_{poly}$ ) a orthofosfátů ( $P_{ortho}$ ). Hlavním zdrojem anorganického fosforu je především aplikace fosforečnanových hnojiv a odpadní vody z prádel a dalších provozů, do kterých se dostávají fosforečnany z pracích prostředků (Pitter 2009). Organicky vázaný fosfor je produktem biologických procesů (např. rozklad vodní flory a fauny, živočišné odpady, procesy biologického čištění odpadních vod atd.). Sloučeniny tohoto typu se vyskytují ve splaškových vodách, odpadních vodách z potravinářského průmyslu ale i z chemických přípravků používaných v zemědělství (např. fosfolipidy, organofosforové pesticidy, koenzymy ATP a ADP). Koncentrace fosforečnanů není ze zdravotního hlediska při běžných koncentracích příliš důležitá. Náhlý vzrůst koncentrace fosforečnanů ve vodě však může indikovat případné fekální znečištění zdrojů pitné vody. Problematická je eutrofizace vod, na kterou má obsah fosforu ve vodě zásadní vliv (Horáková et al., 2007). Obsah fosforu ve vodách se vyjadřuje v mg/l celkového fosforu.

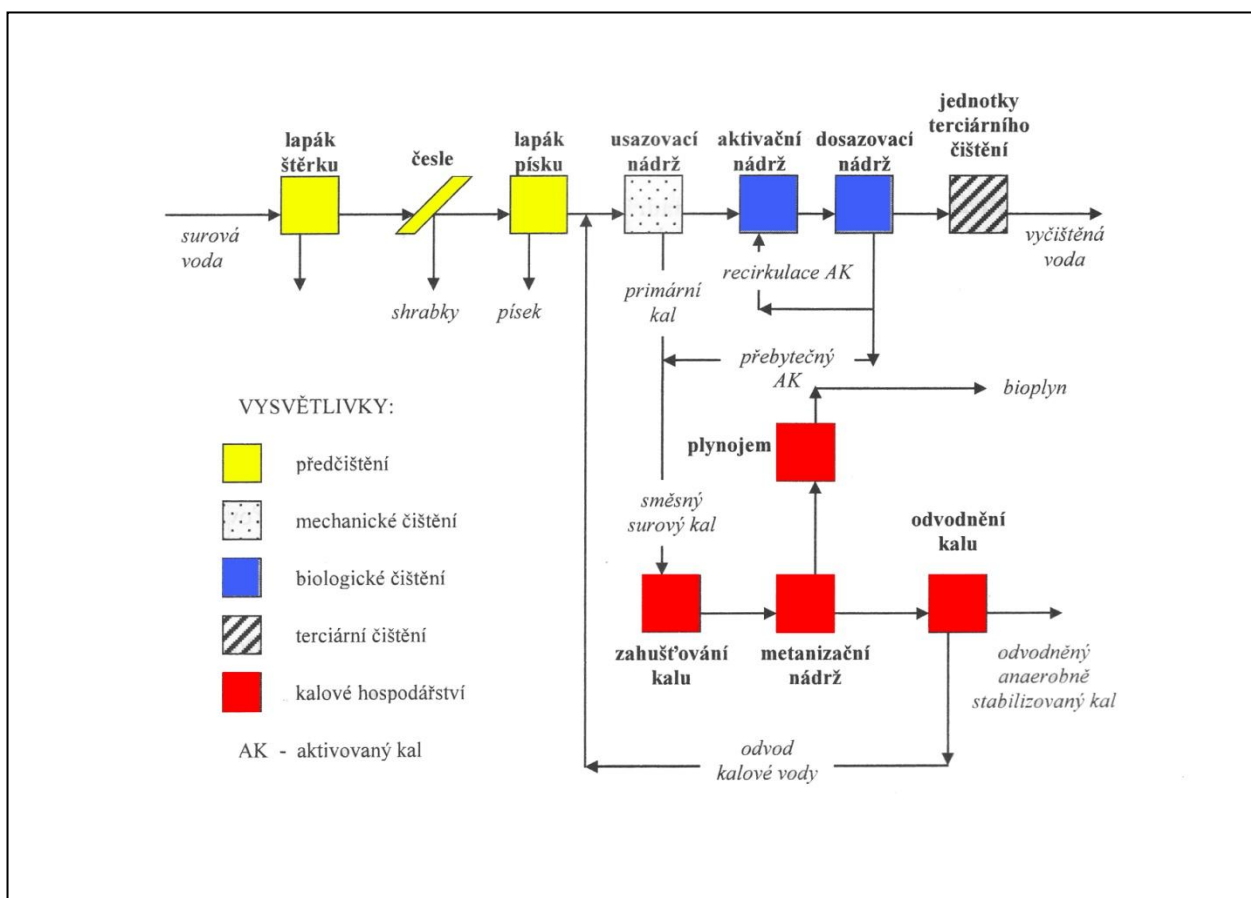
#### Sloučeniny dusíku

Dusík patří mezi nejdůležitější biogenní prvky ve vodách. Sloučeniny dusíku se uplatňují při všech biologických procesech probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách. Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. Hlavní formy výskytu dusíku ve vodách jsou elementární (N), anorganicky vázaný (amoniakální dusík  $N-NH_4^+$  resp.  $N-NH_3$ , dusitanový dusík  $N-NO_2$ , dusičnanový dusík  $N-NO_3$ ) a organicky vázaný (Pitter 2009). Významným zdrojem organických i anorganických sloučenin dusíku ve vodách jsou splaškové odpadní vody. Dalším významným zdrojem jsou odpady ze zemědělství, jako jsou splachy z obdělávané půdy hnojené dusíkatými hnojivy a z potravinářského průmyslu. Některé průmyslové odpadní vody (např. z tepelného zpracování uhlí nebo z galvanického pokovování) mohou obsahovat velké množství amoniakálního dusíku. Množství dusíku ve vodách se vyjadřuje v mg/l celkového dusíku ( $N_{cel}$ : součet koncentrací organického a všech forem anorganického dusíku). Zvýšená koncentrace sloučenin dusíku může vést k eutrofizaci vod (Horáková et al., 2007, Pitter 2009). Eutrofizace je znehodnocování vodního ekosystému přísunem živin, především dusíku a fosforu. Jejich vlivem dochází k masovému růstu řas a sinic, které svojí činností narušují kyslíkový režim. Tímto procesem dochází ke změnám v populaci živočichů a rostlin a ke snížení kvality vody. (Jickells 2005 Cloern et al., 2007).

#### 4. ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD

Čištění městských odpadních vod probíhá na ČOV jako sled mechanických, fyzikálně-chemických a biochemických procesů (Obr. 2.) ( Švehla et al., 2007, Tansel 2008). Volba a zařazení jednotlivých procesů do technologické linky závisí na charakteru znečištění a na splnění následujících požadavků:

- Proces musí být účinný
- Proces by měl být ekonomicky přijatelný
- Proces by neměl být příliš náročný na spotřebu energie
- Při procesu by se neměly vnášet do čištěné odpadní vody další znečišťující látky



**Obrázek 2:** Blokové schéma technologické linky velkých a středních čistíren městských odpadních vod (upraveno dle Švehly et al., 2007)

#### **4.1 Předčištění odpadních vod**

Při čištění městských odpadních vod je třeba odstranit především hrubé, makroskopické látky, jejichž přítomnost by mohla vést v dalších stupních čištění, k mechanickým závadám a zanášení objektů a zařízení ČOV (Hlavínek et al., 2003). V první fázi čištění, kterému se říká předčištění, se surová voda zbavuje hrubých nerozpuštěných předmětů a látek (např. papíry, dřevo, plastické hmoty a jiné fyzické trosky). Předčištění obvykle zahrnuje lapák šterku, česle a lapák písku (FAO 2006, Dohányos et al., 2007). Jenom zřídka se za lapáky písku zařazují ještě lapáky tuku. Na městských čistírnách odpadních vod se tuky zachycují v primárních usazovacích nádržích jako plovoucí nečistoty.

#### **4.2 Primární (Mechanické) čištění**

Odpadní voda zbavena hrubých nečistot a písku se přivádí na tzv. mechanické (primární) čištění, které je realizováno v usazovacích nádržích (Chudoba et al., 1991). Primární stupeň ČOV slouží k odstranění znečišťujících látek, které jsou za normálních podmínek schopny sedimentovat, popřípadě k sedimentaci látek, které vznikly jako produkty procesu chemického sražení odpadních vod (Václavík et al., 2010). Snížení množství nerozpuštěných látek a organické hmoty v odpadních vodách lze dosáhnout sedimentací nebo flotací. Během primárního čištění jsou odstraněny až do 50% BSK<sub>5</sub>, 70% nerozpuštěných látek a 65% tuků a olejů (Sonune a Ghate 2004).

#### **4.3 Sekundární (Biologické) čištění**

Cílem biologického čištění je koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky a stabilizovat organické látky. U komunálních odpadních vod je to redukce organických látek a též nutrientů (dusík a fosfor) (Malý a Malá 2006). Rychlost tohoto procesu závisí na řadě faktorů, např. na obsahu kyslíku, pH, teplotě, typu znečištění a přítomnosti toxických látek. Biologické čištění odpadních vod může být aerobní (za přístupu kyslíku) nebo anaerobní (bez přístupu kyslíku) (Švehla et al., 2007).

##### **4.3.1 Biologické čištění v aerobních podmínkách**

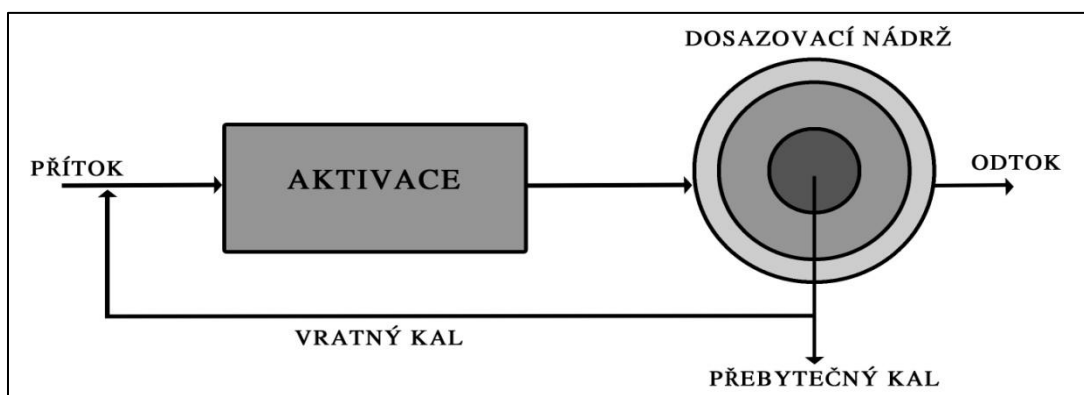
Při aerobním biologickém čištění dochází k oxidaci organických látek působením mikroorganismů (hlavně bakterií) za přítomnosti kyslíku (Buchanan and Seabloom 2004). Za přítomnosti rozpuštěného kyslíku (např. vstřikovaného formou vzduchu nebo čistého kyslíku) se organické složky přeměňují (mineralizují) na oxid uhličitý, vodu a jiné produkty metabolismu a biomasy (Hlavínek et al., 2003). Technologické postupy biologického čištění odpadních vod v aerobních podmínkách dělíme obecně na technologie s biologickou kulturou přisedlou na pevném povrchu (biofilmové reaktory) a na technologie s biologickou kulturou ve formě suspenze (aktivační proces) (Švehla et al., 2007).

#### 4.3.1.1 Aktivační proces

Aktivační proces je v dnešní době nejrozšířenější způsob biologického čištění odpadních vod (Dohányos et al., 2007). Princip tohoto procesu je vytvoření aktivovaného kalu v aktivační nádrži, která je provzdušňována, tzn. kontinuální kultivace biomasy s recyklem (Pošta et al., 2005).

Aktivační směs vzniklá smísením odpadní vody a vratného aktivovaného kalu, přitéká do aktivační nádrže, kde je provzdušňována. Odpadní voda je separována od aktivovaného kalu v dosazovací nádrži (separační nádrži) a odtokem vychází vyčištěná voda. Zahuštěný aktivovaný kal je následně recirkulován zpět jako inokulum (vratný aktivovaný kal) a nově vytvořená biomasa je ze systému odstraňována. Vzniklá biomasa se odstraňuje ve formě přebytečného aktivovaného kalu (Slavičková a Slaviček 2006, Bindzar et al., 2009).

Tyto děje probíhají v otevřeném systému v nesterilních podmínkách a výsledné mikrobiální složení aktivovaného kalu se stabilizuje samovolně podle složení odpadní vody, uspořádání a technologických parametrů aktivace (Švehla et al., 2007, Ataei 2010). Základními parametry aktivačního procesu z hlediska biocenózy je doba zdržení (poměr objemu nádrže k přítoku odpadní vody), stáří kalu (průměrná doba od vzniku vločky po její odstranění v přebytečném kalu), objemové zatížení (množství znečištění vyjádřené jako BSK<sub>5</sub> připadající na jednotku funkčního objemu technologického zařízení za jednotku času) a zatížení kalu (množství substrátu připadající na jednotku biomasy aktivovaného kalu za jednotku času) (Chudoba et al., 1991). Blokové schéma procesu je uvedeno na obrázku (Obr. 3).



**Obrázek 3:** Blokové schéma aktivačního procesu ([www.pro-aqua.cz](http://www.pro-aqua.cz))

#### 4.3.1.2 Biofilmové reaktory (biofiltry)

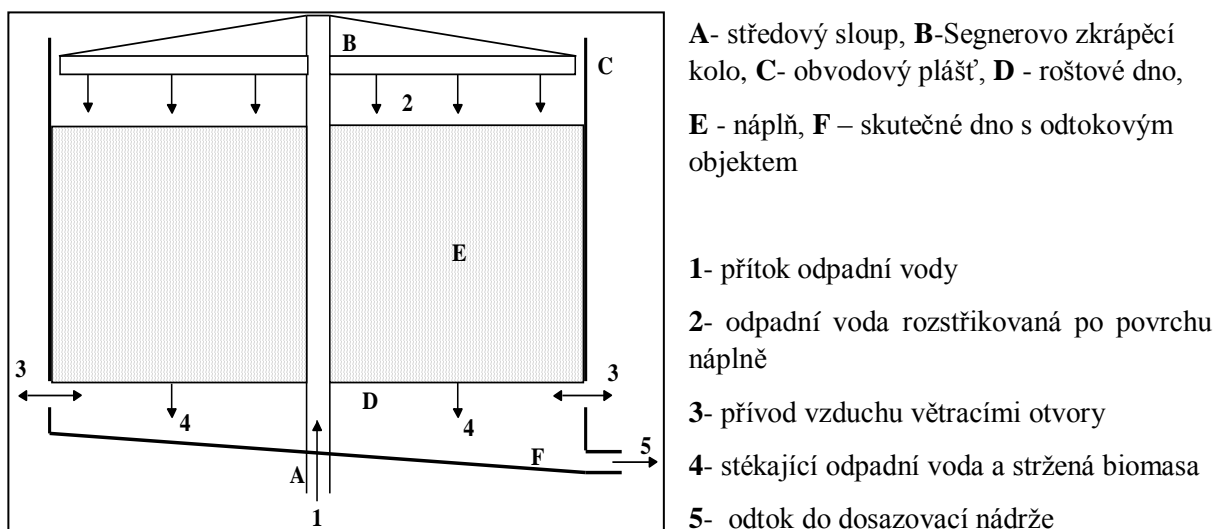
V poslední době jsou využívány systémy se směsnou kulturou označované jako biofilmové reaktory využívající činnosti mikroorganismů přisedlých k pevnému povrchu (interního nosiče) (Dohányos et al., 2007, Vítěz a Groda 2008).

Technika kultivace biomasy ve formě biofilmu patří do skupiny kultivací s tzv. imobilizovanými buňkami. Biofilmový systém je výsledkem složité interakce procesů (např. fyzikální, chemický, biochemický). Bakteriální složení biofilmu se může měnit nejen podél reaktoru, ale i v jednom průřezu reaktoru s tloušťkou (Bindzar et al., 2009). Podle typu nosiče

a způsobu jeho kontaktu s odpadní vodou rozdělujeme biofilmové reaktory na zkrápěné biologické kolony (biofiltry) a rotační biofilmové reaktory (Pošta et al., 2005).

#### Zkrápěné biologické kolony (biofiltry)

Zkrápěná biologická kolona je válcová nádrž vyplněná různým materiálem. Na (Obr. 4) je uveden schematický popis zkrápěných biologických kolon. Nejprve je čerpaná odpadní voda distribuována na vrchol nádrže, kde je rozstříkována po povrchu náplně z rotujícího zkrápěcího zařízení (Segnerovo zkrápěcí kolo – zajišťuje rovnoměrnou distribuci vody) (Bindzar et al., 2009). Pak voda protéká náplní kolony, při čemž dochází ve styku s biofilmem k jejímu čištění. Jako náplň se nejčastěji používá štěrk, vápenec, kámen, keramika nebo plast. Velikost zrna má být v průměru 5 – 10 cm. Výška filtrační vrstvy bývá 1,5 až 4 m. Ve stěně filtru musí být větrací otvory, aby byl zajištěn dostatečný přísun kyslíku pro aerobní biochemické pochody probíhající ve slizovitém povlaku náplně (US-EPA 2000, Václavík et al., 2010). Proudění vzduchu v biofiltru vzniká v důsledku rozdílu vnějších teplot, a to teploty vzduchu a teploty odpadní vody. Na konec je vyčištěná voda odváděna z biologických filtrů na dosazovací nádrže (Malý a Malá 2006).



**Obrázek 4:** Schéma zkrápěné biologické kolony (biofiltru) (Pošta et al., 2005)

#### Rotační biofilmové reaktory

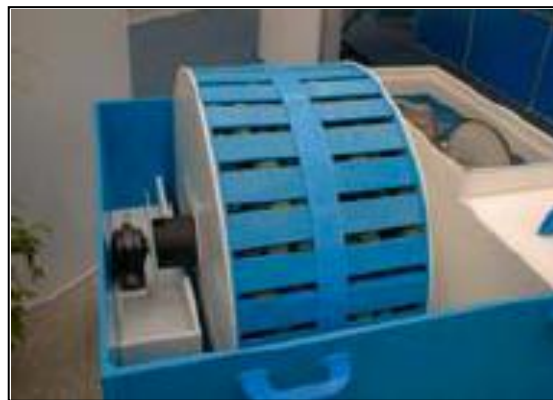
Toto čištění je založeno na působení směsné kultury mikroorganismů tvořících biofilm, který se tvoří na členité ploše pomaluběžných rotačních disků (Herle a Bareš 1990, Pošta et al., 2005). Tyto disky jsou vyrobeny z polystyrenu nebo polyvinylchloridu (PVC), jsou částečně ponořeny v odpadní vodě a zvolna se v ní otáčejí. Biofilm se na nosiči při jeho otáčení ocitá střídavě pod hladinou vody, kde dochází k sorpci rozpuštěných kontaminantů do biofilmu. Poté se tato vrstva ocitne na vzduchu, kde dochází naopak k pronikání kyslíku do biomasy. Přebytečná biomasa se vlivem rotace disků uvolňuje a odtéká s čištěnou odpadní vodou do dosazovací nádrže, kde sedimentuje (Václavík et al., 2010). Podle konstrukce nosiče biofilmu

tyto reaktory můžeme dělit na rotační diskové reaktory RDR (Obr.5) nebo rotační klecové reaktory RKR (Obr.6) (Bindzar et al., 2009).

Rotační biofilmové reaktory se používají zejména k čištění odpadních vod z malých aglomerací. Výhoda technologie se vyznačuje jednoduchou obsluhou a relativně nízkou spotřebou energie.



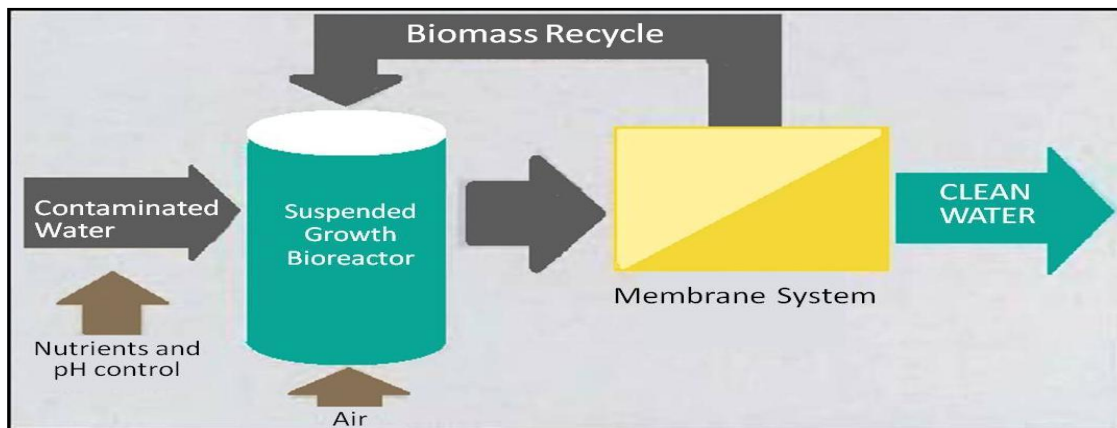
**Obrázek 5:** Rotační diskový reaktor



**Obrázek 6:** Rotační klecový reaktor

#### 4.3.1.3 Membránové biologické reaktory (MBR)

Membránové bioreaktory jsou nejnovější technologií, která byla vyvinuta v průběhu posledních několika let (Melin et al., 2006, Hoinkis et al., 2012). Membránové bioreaktory (MBR) jsou modifikované systémy s aktivovaným kalem, kde jsou sekundární čířící nádrže nahrazeny membránovým filtrem. Vyčištěná odpadní voda prochází membránami pod hydrostatickým tlakem, kde se odděluje vyčištěná odpadní voda od suspendovaných pevných látek ve směsné kapalině. Membrána může být umístěna buď uvnitř provzdušňované nádrže s aktivovaným kalem, nebo ve vnější smyčce (www.fs.cvut.cz). Použití membrán umožňuje upravovat vysoké koncentrace biomasy, které často způsobují omezený přenos kyslíku v tradičních provzdušňovacích zařízeních. Technologie MBR může být provozována v aerobním nebo anaerobním režimu (Kraume et al., 2005, Patel et al., 2005). Diagram procesu MBR ukazuje (Obr. 7).

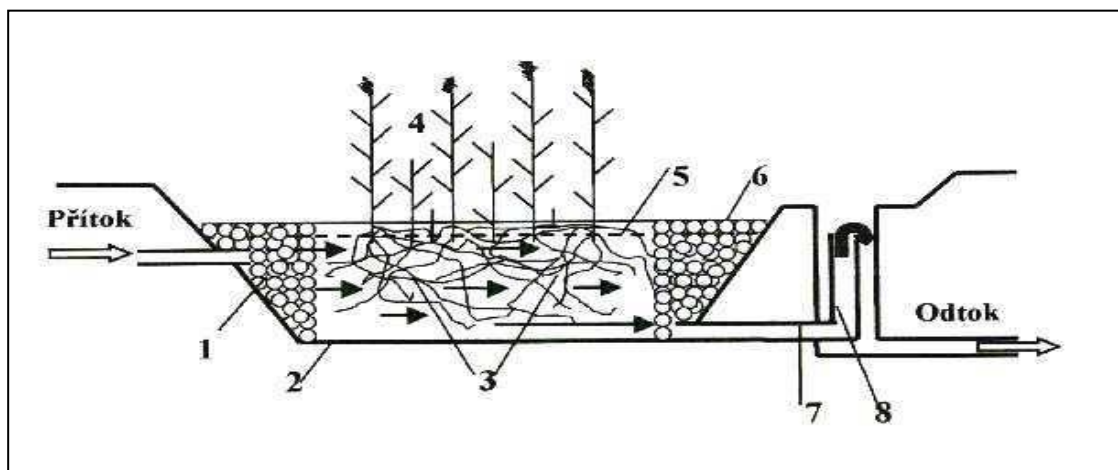


**Obrázek 7:** Zjednodušený proudový diagram systému membránového bioreaktoru (www.vupp.cz)

#### 4.3.1.4 Kořenová čistírna odpadních vod KČOV (Obr. 8).

Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV) je přírodní způsob čištění odpadních vod, kdy mokřadní rostliny v systému horizontálního proudění působí jako nosné médium pro mikroorganismy, podporují přísun kyslíku a propustnost lože (Kayombo et al., 2005, Kouřil 2006). KČOV představují levný a snadno obsluhovatelný systém, který je schopen snížit znečištění na přijatelnou úroveň pro vypouštění do vodních toků (Coleman et al., 2001). Základním principem čištění odpadní vody v kořenové čistírně probíhá nejprve formou mechanického předčištění, při kterém dochází k odstranění pevných nečistot nejčastěji v septiku nebo štěrbínové nádrži. Předčištěná voda je odváděna do kořenového lože, kde probíhá dočištění. Kořenové lože je mělká nepropustná nádrž vyplněná kačirkem nebo štěrkem, ve kterém je vysázena mokřadní vegetace. Odpadní voda tímto ložem pomalu protéká a díky mikrobiální činnosti na kořenech rostlin a kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů, dochází k vyčištění odpadní vody. Kořenová čistírna ve svém principu využívá přirozené samočištění vody, které probíhá běžně v přírodě v přirozených mokřadech (Vymazal 2008). Účinnost čištění dosahuje 80% až 95% dle BSK<sub>5</sub> a 88% až 95% podle koncentrace nerozpuštěných látek. Obsah dusíku a fosforu ve vyčištěné vodě se snižuje až o 50% (Švehla et al., 2007).

Výhodou je ekologický charakter čistírny, protože nepůsobí rušivě v krajině. Pořizovací náklady jsou menší než u klasické ČOV, rovněž nároky na energie jsou velmi nízké. Nevýhodou KČOV jsou poměrně vysoké nároky na plochu a závislost účinku čištění a na klimatických podmínkách. Tyto čistírny se využívají především k dočištění městských odpadních vod, k čištění odpadních vod v menších obcích nebo pro jednotlivé rodinné domy (Šálek a Tlapák 2006, Vymazal 2008).



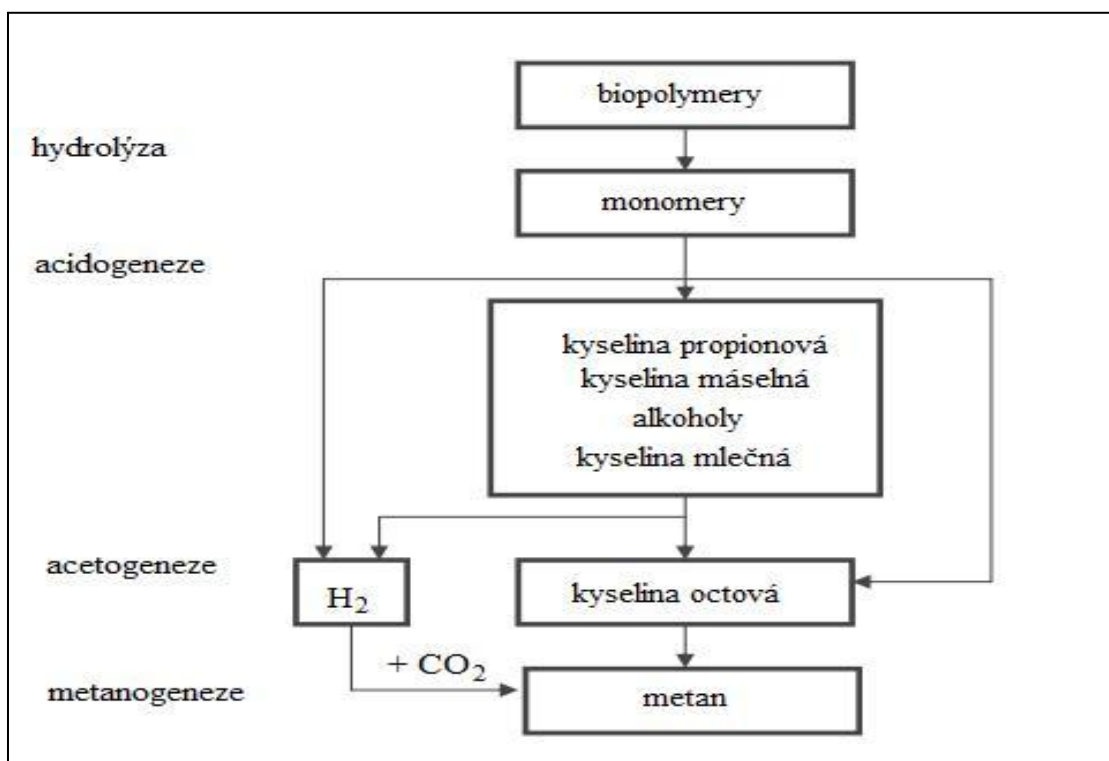
**Obrázek 8:** Typické uspořádání kořenové čistírny (Vymazal 2008).

**1** - distribuční zóna (kamenivo, 50-200 mm), **2** - nepropustná bariéra (PE nebo PVC), **3** - filtrační materiál (kačírek, štěrk, drcené kamenivo), **4** - vegetace, **5** - výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, **6** - odtoková zóna (shodná s distribuční zónou), **7** - sběrná drenáž (průměr 150-200 mm), **8** - regulace výšky hladiny



#### 4.3.2 Biologické čištění v anaerobních podmínkách

Při anaerobním čištění odpadních vod dochází k přeměně organického obsahu odpadních vod s pomocí mikroorganismů bez přístupu vzduchu na různé produkty (Švehla et al., 2007). Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, plyny ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) a zbytek organické hmoty (Dohányos 2008). V prvním stadiu, které se nazývá hydrolýza, jsou rozkládány makromolekulární organické látky (např. polysacharidy, lipidy nebo bílkoviny) na látky nízkomolekulární. Během druhé fáze (acidogeneze) jsou nízkomolekulární látky rozkládány dále na látky jednodušší (např. kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ). V dalším stádiu rozkladu (acetogeneze) probíhá oxidace těchto látek na  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  a kyselinu octovou. V posledním stádiu (metanogeneze) dochází k tvorbě metanu pomocí metanogenních mikroorganismů, které rozkládají některé jednodušší látky (metanol, kyselina mravenčí, methylaminy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) a z více uhlíkatých pouze kyselina octová. Produkty rozkladu jsou metan a oxid uhličitý, které jsou uvolňovány jako bioplyn. (Hovorka 2005)(Obr. 9.).



**Obrázek 9:** Zjednodušené schéma anaerobního rozkladu organických látek (<http://kbe.prf.jcu.cz>)

Přednosti tohoto způsobu čištění je nízká spotřeba energie, nižší produkce biomasy a tím i menší požadavky na živiny (dusík, fosfor). Nevýhody anaerobního čištění spočívají ve větší citlivosti anaerobních bakterií na změnu podmínek a přítomnost toxických látek, v nižší reakční rychlosti a tím dlouhé doby zdržení v reaktoru (Hovorka 2005).

#### 4.4 Terciální čištění- odstraňování (nutrientů) z odpadních vod

Nutrienty jsou jako anorganické sloučeniny dusíku a fosforu. Zvýšená přítomnost sloučenin těchto dvou prvků ve vypouštěných odpadních vodách může vést k následujícím problémům v recipientech (Bindzar et al., 2009).

- toxicita amoniaku (zejména nedisociované formy) na vodní organismy
- zvýšení nákladů na úpravu vody při vodárenském využívání, případně jeho znemožnění a nebezpečí tvorby karcinogenních sloučenin
- eutrofizace povrchových vod se všemi průvodními negativními jevy

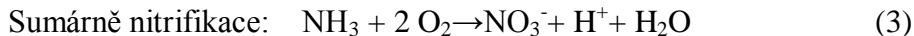
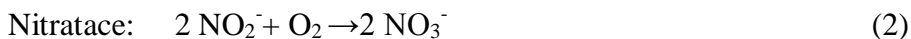
##### 4.4.1 Biologické odstraňování dusíku

Při biologickém odstraňování dusíku jsou využívány dva hlavní principy. První princip se nazývá asimilační a zprostředkovává vazbu dusíku v buněčné hmotě prostřednictvím produkce buněčných látek. Druhým typem je disimilační princip, kdy dochází k redukci dusíku z nitritu na plynnou formu (Švehla et al., 2007). Nejběžnějším postupem odstraňování dusíkatého znečištění z odpadních vod je nitrifikace a denitrifikace.

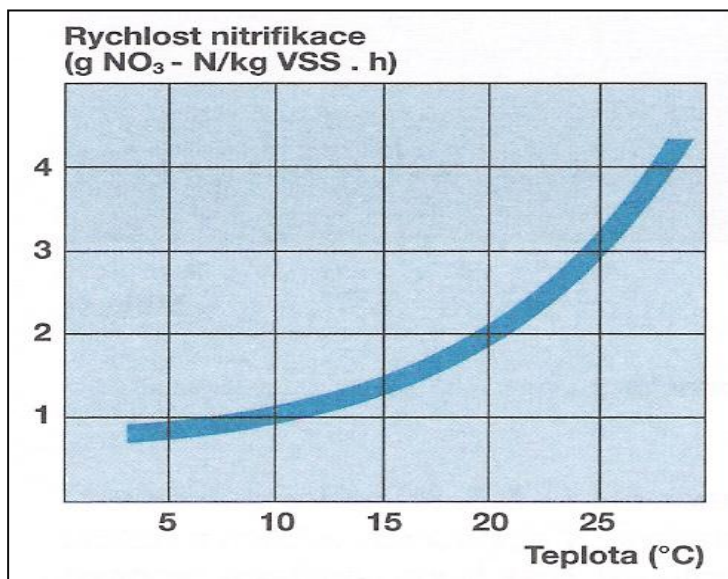
##### Nitrifikace

Nitrifikace je biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dále na dusičnany. Na nitrifikaci se podílí nitrifikační bakterie. Základní podmínkou pro růst těchto bakterií je přístup vzduchu (Hlavinek et al., 2003).

Nitrifikace probíhá ve dvou stupních a probíhají zde dvě základní reakce, které jsou nitritace a nitratace. Nejdříve probíhá oxidace amoniakálního dusíku na dusitany, na kterém se podílí nitrifikační bakterie rodu *Nitrosomonas*. Poté jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany bakteriemi rodu *Nitrobacter*. Nitrifikace probíhá podle následujících rovnic (Dohányos et al., 2007):



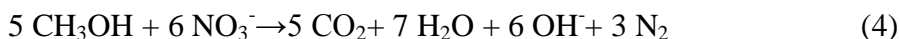
Existují různé faktory, které ovlivňují rychlost nitrifikaci. Nejdůležitější faktory jsou koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnota pH a teplota. Pro průběh nitrifikaci se uvádí pH v rozmezích 7- 8,5. S klesající teplotou klesá i rychlost nitrifikace (Obr. 10.) (Hlavinek et al., 2003, Pošta et al., 2005).



**Obrázek 10:** Závislost nitrifikace na teplotě (Chudoba et al., 1991)

### Denitrifikace

Denitrifikace je opačným procesem nitrifikace (Vítěz a Groda 2008). Jde o redukci dusičnanů na elementární dusík, případně oxid dusný. Denitrifikace probíhá v nepřítomnosti rozpuštěného kyslíku. Proces potřebuje organické nebo anorganické donory elektronů (odpadní voda, metanol, apod.) (Pošta et al., 2005). Denitrifikace probíhá podle následující rovnice:



Na denitrifikaci se podílí četné druhy bakterií, např. z rodu *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Denitrobacillus* a jiné striktně anaerobní i fakultativně anaerobní mikroorganismy. Rychlost denitrifikace je ovlivňována teplotou, ale ne tak výrazně jako nitrifikace (Švehla et al., 2007).

#### 4.4.2 Chemické odstraňování fosforu

Při chemickém odstraňování fosforu se využívá zejména srážení. Chemické srážení fosforu v odpadních vodách představuje převedení rozpuštěných anorganických forem fosforu na málo rozpustné fosfáty kovů (Švehla et al., 2007).

Zároveň dochází k odstraňování organicky vázaného fosforu, jelikož obsah nerozpuštěných látek po chemickém srážení značně klesá.

Nejpoužívanějšími koagulanty, které jsou dostatečně účinné a přitom nepříliš nákladné jsou:

- soli hliníku
- soli železa
- vápno

Přídavkem koagulantu dochází ke srážení rozpuštěných anorganických fosfátů a dále i k tvorbě hydroxidů kovů (Al, Fe, Ca). Vznikají gelové vločky, které poutají fosfáty kovů a další nerozpuštěné látky přítomné ve vodách. Tento proces se nazývá koagulace

#### 4.4.3 Biologické odstraňování fosforu

Biologické odstraňování fosforu je založeno na schopnosti některých mikroorganismů aktivovaného kalu akumulovat fosfor ve formě polyfosfátů.

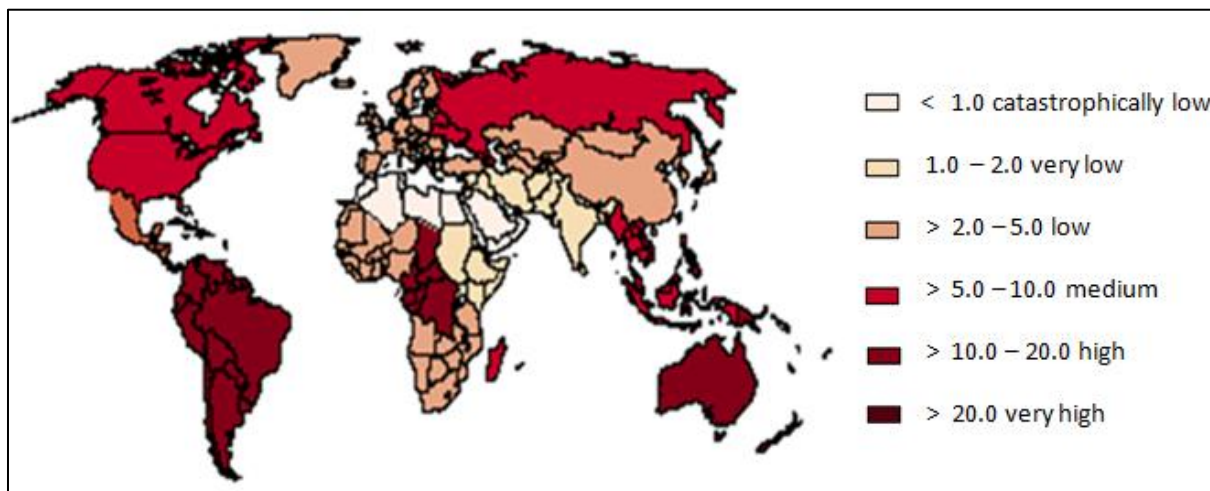
Tyto mikroorganismy jsou nazývány poly-P (polyfosfátakumulující) bakterie a v současnosti je známo asi 30 druhů (<http://etext.czu.cz>). Mezi nejznámější patří *Acinetobacter sp.* a bakterie patřící do skupiny *Acinetobacter/Moraxella* (Dohányos et al., 2007). Pro zvýšené odstraňování fosforu je potřeba, aby odpadní voda procházela anaerobní i aerobní fází. Při anaerobní fázi dochází k činnosti anaerobních mikroorganismů, syntéze kyseliny octové a dalších snadno rozložitelných látek. Poly-P bakterie mají schopnost tyto látky akumulovat a ukládají je do svých buněk ve formě zásobních látek. Energii potřebnou k této přeměně získávají poly-P bakterie rozkladem polyfosforečnanů akumulovaných v jejich buňkách. Dochází tedy ke zkracování řetězce polyfosforečnanů a do okolní vody jsou uvolňovány orthofosforečnany. Při této fázi koncentrace celkového fosforu stoupá (Hlavínek et al., 2003). V aerobním prostředí dochází ke spalování organických zásobních látek na CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Rozkladem těchto zásobních látek je uvolněna energie. Tuto energii využívají poly-P bakterie k akumulaci orthofosforečnanů z odpadní vody a přeměňují je zpět na zásobní polyfosforečnany (Švehla et al., 2007).

Důležitým faktem je, že při procesech probíhajících v aerobních podmínkách je poly-P bakteriemi akumulováno více fosforu, než bylo uvolněno v podmínkách anaerobních. Určitá část fosforu je z odpadní vody odstraněna.

## 5. OPĚTOVNÉ VYUŽITÍ VYČIŠTĚNÉ ODPADNÍ VODY

Industrializace, urbanizace a zemědělská praxe ovlivněné rychlým populačním růstem má za následek zvýšenou poptávku využitelné vody. Tento fakt vede k velkému nárůstu množství odpadních vod (Meneses et al., 2010). Problémy související s odpadními vodami se stále a více dostávají mezi první problémy, které ohrožují životní prostředí a lidstvo. Organizace spojených národů předpokládá, že poptávka po vodě do roku 2020 překročí nabídku o 17 trilionů hektolitrů a následkem toho bude, že dvě třetiny populace budou čelit střednímu až vážnému nedostatku vody během následujících pěti let. Většina sladké vody se použije v zemědělství asi pětina v průmyslové výrobě, další pětina na výrobu energie a ostatní voda jako voda pitná a pro jiné účely (Becker B., 2011).

Z obrázku (Obr. 11) lze odvodit, že v mnoha Afrických a Asijských zemích je množství vody buďto v nedostatku anebo na katastrofální úrovni. Tyto problémy vznikají z mnoha důvodů. V některých místech se voda odebírá z vodních zdrojů, kde se z důvodů nedostatku sanitační infrastruktury a služeb stala nepoužitelná a znečištěná. Nadměrné čerpání podzemních vod také zhoršuje kvalitu vody kvůli degradaci způsobené solí, pesticidy, přirozeně se vyskytujícího arsenu a dalších znečišťujících látek. V městských oblastech se poptávka po vodě neustále zvyšuje, vzhledem k růstu populace, průmyslovému rozvoji a rozšiřování zavlažovaných zemědělských oblastí (UNEP 2002a).



**Obrázek 11:** Water availability in 2000 (Measured in terms of 1000m³ per capita/year) (UNEP 2002a)

Vysoká spotřeba použitelné vody se v novém století předpokládá, aniž by bylo přezkoumáno, zda jsou vůbec k dispozici vodní zdroje, které by mohly uspokojit tyto potřeby. Odkud by se mohla tato voda najít, bylo otázkou, která vedla k přezkoumání stávajících strategií s nakládáním vody. Nové strategie, ale poukazují na recyklaci a opětovné využití odpadních vod, kvůli stále rozvíjející se průmyslové produkci, zvýšení lidské populace a použití v zemědělství. (Vigneswaran and Sundaravadivel 2004)

### 5.1. Oblasti použití vyčištěné odpadní vody

Pohled na odpadní vodu se díky nové technologii mění. Stává se využitelná v mnoha oblastech, ve kterých v minulosti byla pouze nepotřebným odpadem. Např. na urbanizovaná území (zalévání parků, mytí ulic, požární ochranu, stavební práce, čištění objektů, splachování toalet). Dále pak v zemědělství, pro závlahy pastvin, plodin určených ke krmení hospodářských zvířat, plodin pro průmyslové využití (Šrámková a Wanner 2010).

Další využití je v oblastech zkvalitňování životního prostředí, a to zejména v letních měsících, kde dochází ke zlepšování průtoku v povrchových tocích a doplňování zdrojů podzemních vod. Takovým příkladem je třeba Španělsko, kde je vyčištěná voda používána pro napájení řek a zavlažování zemědělských ploch (Cazurra 2008). Vyčištěné odpadní vody z ekonomického hlediska mají v průmyslovém oboru velmi důležitý význam, kde můžou být použité jako procesní vody. Typickým příkladem je Polsko na Krakově, kde je využívána na chladicí okruhy a vytápění (Kurbiel et al., 1996). V tabulce 2 jsou uvedeny možné aplikace pro využití vyčištěné vody v ČR.

**Tabulka 2 :** Přehled možného použití vyčištěných odpadních vod v podmínkách ČR (Asano a Levine 1998)

Urbanizovaná území	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zalévání parků, hřišť, mytí ulic a dvorů, zalévání golfových hřišť, hřbitovů a zelených pásů v rezidenčních čtvrtích</li><li>• Požární ochrana, použití vody pro mimořádné případy</li><li>• Stavební práce apod.</li></ul>
Zemědělství	<ul style="list-style-type: none"><li>• Závlahy plodin pro krmení hospodářských zvířat, pastvin, květin, plodin pro průmyslové využití (výroba biopaliv apod.)</li><li>• Závlahy plodin pro humánní výživu (ve zvláštním režimu)</li></ul>
Rekreační aktivity	<ul style="list-style-type: none"><li>• Doplňování vody v jezerech a rybnících s rekreačním využitím (převážně tzv. nekontaktní aktivity)</li><li>• Výroba ledu a sněhu pro rekreační využití</li></ul>
Zkvalitňování životního prostředí	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tvorba umělých mokřadů</li><li>• Nadlepšování hydraulických poměrů v přirozených mokřadech</li><li>• Zlepšování průtoků v povrchových tocích, zejména v letním období</li></ul>
Doplňování zdrojů podzemních vod	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hydraulické bariery proti znečištění aquifer</li><li>• Doplňování kapacity zdroje podzemní vody, ochrana před poklesem hladiny</li><li>• Obnovení látkových bilancí minerálních složek ve vyčištěné odpadní vodě</li></ul>
Průmyslové využití	<ul style="list-style-type: none"><li>• Procesní voda</li><li>• Voda do chladicích systémů</li><li>• Úprava kotelních napájecích vod</li><li>• Sociální zařízení a průmyslové prádelny</li><li>• Oplachové vody</li><li>• Klimatizace a požární ochrana objektů</li></ul>
Použití v rezidenčních objektech	<ul style="list-style-type: none"><li>• Čištění objektů</li><li>• Prádelny</li><li>• Splachování toalet</li><li>• Klimatizace a požární ochrana objektů</li></ul>
Zásobování pitnou vodou	<ul style="list-style-type: none"><li>• Směšování se zdroji městské pitné vody</li></ul>

## 5.2 Opětovné využití šedých a dešťových vod

### Šedá voda

Podle evropské normy 12056-1 se název šedá voda chápe jako komunální (splašková) odpadní voda, která neobsahuje fekálie a moč (Piños et al., 2012) odtékávající z umyvadel, van, sprch, dřezů, výlevků a to jak z hotelů, restaurací tak i obdobných ubytovacích zařízení a míst, kde se lidé shromažďují (Biela 2011). Zdroje způsobující tyto šedé vody jsou především detergenty z pracích prášků, šamponů, mýdel, zubních past a další. V případě obsahu olejů a tuků ve vodě z kuchyňských dřezů a z drtičů odpadů, pak tato odpadní voda může být považována jako šedá voda. V tom případě voda představuje mikrobiální znečištění, a to může mít negativní vliv na životní prostředí.

Podle zdroje lze šedé vody rozdělit na:

- neseparované šedé vody
- šedé vody z kuchyní a myček
- šedé vody z praček
- šedé vody z umyvadel, van a sprch

Problém s nedostatkem vody by šel řešit využitím alternativních zdrojů, které by dodávaly recyklovanou vodu přímo ke konkrétnímu typu spotřeby (Bartoník et al., 2012). Takto přivedená voda by nemusela vykazovat přísné parametry vody pitné. Ve světovém měřítku je využívání šedých vod v určitých oblastech zavedenou a běžnou praxí. Např. použití recyklované šedé vody na splachování toalet, kdy spotřeba pitné vody může být snížena až o 25 % (Kopačková 2011).

Díky nízkému obsahu škodlivých látek šedých vod (především ze sprch a koupelen), se jejich recyklace stává nenáročná (Bartoník et al., 2012) a navíc je užitečným prostředkem pro úsporu vody a velmi účinný způsob snižování finančních nákladů na pitnou vodu ([www.ewu-aqua.de](http://www.ewu-aqua.de)). Recyklovaná šedá voda se po úpravě stává tzv. bílá voda, která je používána na splachování toalet, pisoárů a zalévání zahrad (Biela 2011). Z ekonomického hlediska, by se vyplatilo oddělit šedou vodu a použít ji jako užitkovou, kde je relativně větší produkce a zejména větší spotřeba (hotely, sportovní zařízení, bazény, nemocnice) (Bartoník et al., 2012).

Recyklace šedé vody má za následek jak snížení spotřeby pitné vody v budovách, kdy díky tomu se přispívá i k ochraně životního prostředí, tak i ke snížení nákladů na spotřebu vody v domácnostech a firmách.

Kromě výše uvedených použití šedé vody, lze také využít její teplotu. Sama o sobě tato voda má určitou teplotu (Piños et al., 2012, Bartoník et al., 2012), která je různá a závislá na mnoha faktorech, jako je návštěvnost zařízení, směnnost provozu atd. Recyklace tepla ze šedých vod je jedním ze způsobů, jak snížit náklady na ohřev TUV (teplé užitkové vody) Dnes už se využívá přibližně 10 % energie, která je vložena do ohřátí TUV (Piños et al., 2012).

## Dešťová voda

Dešťová voda, vzniká díky dešťovým srážkám, které jsou jedním z nejdůležitějších procesů na Zemi. Díky jim se jeví hydrologický cyklus mezi pevninou a oceány. Odpařující se voda z oceánů, ale také z ostatních vodních ploch, z pevniny i z rostlin stoupá ve formě vodní páry s teplejším vzduchem, a tímto procesem vzniká dešťová voda ([www.zmeny-klimatu.blog.cz](http://www.zmeny-klimatu.blog.cz)).

Tato voda obsahuje látky, které se vyskytují v ovzduší, jako jsou prach, části rostlin, hmyzu, ptací trus, bakterie, řasy, a někdy i radioaktivní materiály. Tyto nečistoty většinou způsobují zabarvení, zápach a kontaminaci dešťové vody a navíc podporují růst mikroorganismů. (Ryšková a Vespalcová 2011).

Jeden ze způsobů jak zachytávat tuto vodu je např. u zpevněných cest nebo parkovacích stání, kde je umožněno využít prostým vsakováním pomocí otvorů, kde pomalu voda prosakuje pod úroveň terénu do okolí a zavlažuje jej. U větších betonových nebo asfaltových ploch se vyplatí tuto vodu opět zachytávat do podzemní nádrže na dešťovou vodu a dále využívat (Dobry 2010).

Tato dešťová voda, díky kontaktu se střešní krytinou a odpadními rourami, není přirozeně úplně čistá. Přesto při správném a zodpovědném zacházení s takovou vodou nemůže dojít k ohrožení zdraví. Z některých druhů střešních krytin (např. eternit nebo lepenka) se mohou do vody uvolňovat nežádoucí látky, proto je jistější dát přednost jiným materiálům (Důsledný 2011).

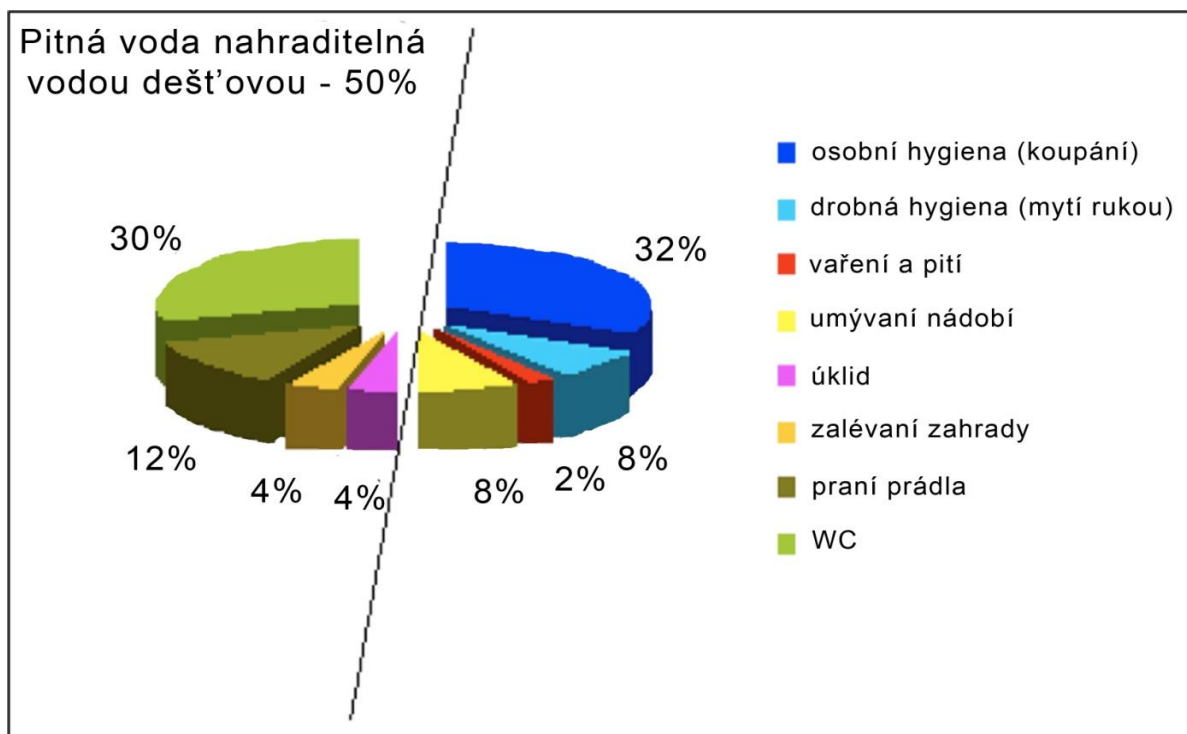
Hlavní důvod využití dešťové vody v domácnostech je nahrazení pitné vody až na neuvěřitelných 50% celkové spotřeby, ve všech případech, kde je zapotřebí velké množství vody (Ryšková a Vespalcová 2011, Důsledný 2011). V případě, že v domě nebude dešťová voda používána jako pitná, ale na praní prádla, úklid a splachování toalet. V tomto případě je výhodou, že tato voda je měkká a nedochází k usazování vodního kamene (Dvořáková 2007). Dešťová voda teče vodovodním potrubím do míst, kde je potřeba. Je ale nutné řešit to tak, aby se nikdy nemísila s vodou pitnou. Součástí nádrže na zachycování dešťové vody může být i automatické přepínání, takže není třeba složitě hlídat kolik vody je v nádrži, a tak při vyprázdnění nádrže se automaticky přepne na používání vody pitné. Filtry v nádrži zachycují nečistoty přitékající ze střechy a okapových rour. Veškerá péče o takovéto zařízení se tak redukuje jen na občasné vyčištění filtrů (Dobry 2010).

Kromě využití dešťové vody přímo v domě, je možné ji využít i na zalévání zahrady nebo zavlažování pozemků a to hlavně díky tomu, že (Dobry 2010):

- není tak studená jak voda s vodovodu nebo ze studny
- je chudá na soli, proto nedochází k zasolování půdy
- neobsahuje chlor (Kolesár 2010)



V současné době průměrná spotřeba vody na jednoho obyvatele činí přibližně 100 litrů vody denně. Ale na přibližně 50% z této spotřeby není nutné mít kvalitní pitnou vodu, proto může být dešťová voda použita jako náhrada, kde je ekonomicky i ekologicky výhodné použít namísto vody pitné (Dvořáková 2007) (obr. 12).



**Obrázek 12:** Diagram ukázky množství možné náhrady pitné vody dešťovou vodou.(Dvořáková 2007)

## 6. ZAVĚR

Problematika čištění odpadních vod z městských provozů je velmi aktuální téma na celém světě. Hlavním cílem této bakalářské práce bylo teoretické představení nejčastěji použitelných způsobů čištění městských odpadních vod, a také studium několika oborů, kde je možno použít odpadních vod po jejich vyčištění.

V práci je popsána technologická linka ČOV, kde čištění probíhá ve třech stupních. Volba a zařazení jednotlivých procesů do technologické linky záleží na charakteru znečištění a musí být splněny určité požadavky (např. proces musí být účinný a ekonomicky přijatelný).

V primárním (mechanickém) stupni čištění jsou odstraňovány hrubé nerozpuštěné předměty a látky (např. papíry, hadry, dřevo, plastické hmoty a jiné fyzické trosky) a písek. V sekundárním (biologickém) čištění, jsou koagulované a odbourané neusaditelné koloidní látky a stabilizované organické látky. Nyní nejvíce používané způsoby biologického čištění jsou aktivační proces, technologie s biologickou kulturou ve formě suspenze a biofilmové reaktory, které jsou technologie s biologickou kulturou ve formě nárostu na vhodném nosiči. Metoda membránové biologické reaktory je nejnovější technologie a používá membránové filtry místo sekundárních čistících nádrží. Další velmi ekonomická a nenáročná metoda je kořenová čistírna odpadních vod (KČOV), kde jsou používané mokřadní rostliny v systému horizontálního proudění a působí jako nosné médium pro mikroorganismy. V posledním terciálním stupni, probíhá dočištění nutrientů zejména dusíku a fosforu z odpadních vod.

Vyčištěnou OV je dnes díky nové technologii možné použít v mnoha oblastech. Využívá se na zalévání parků, mytí ulic, požární ochranu, stavební práce, čištění objektů, splachování toalet. Dále se uplatňuje v zemědělství, pro závlahy pastvin, plodin určených ke krmení hospodářských zvířat, plodin pro průmyslové využití. Další využití je v oblastech zkvalitňování životního prostředí, a to zejména v letních měsících ke zlepšování průtoku v povrchových tocích a doplňování zdrojů podzemních vod.

Odpadní voda může způsobovat i zdravotní problémy u lidí. Proto člověk má dnes za cíl zlepšit technologii čištění odpadních vod získat kvalitní vyčištěnou vodu, kterou bude možné použít ji i jako vodu pitnou a tím řešit nedostatek vody a současně chránit životní prostředí.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Alpert, P., 2005. Sharing the Secrets of Life Without Water. Integrative and Comparative Biology. 45. pp 683-684
- Angelakis A. N., Koutsoyiannis D., Tchobanoglous G., 2005. Urban wastewater and storm water technologies in ancient Greece. Water research 39. pp 210-220
- Asano T., Levine A. D., 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. Water Science and Technology. 33. pp 1-16
- Asano T., Levine A., 1998. Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Introduction. In: Asano T. (ed.), Wastewater Reclamation and reuse, CRC Press, Boca Ranton, Florida, USA, pp. 1-55.
- Ataei A., 2010. Wastewater treatment: Energy-conservation opportunities. Chemical Engineering. 117(1). pp 34-41
- Bartoník A., Holba M., Plotěný K., Palčík J., 2012. ZNOVUVYUŽITÍ ŠEDÝCH A DEŠŤOVÝCH VOD V BUDOVÁCH. Online [cit.dne 17-7-2012] Dostupné z WWW: < <http://www.asio.cz/cz/110.znovuvyuziti-sedych-a-destovych-vod-v-budovach>>
- Becker B., 2011. Střední a východní Evropa potřebuje zefektivnit využití vody. Online [cit.dne 22-7-2012] Dostupné z WWW: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/stredni-a-vychodni-evropa-potrebuje-zefektivnit-vyuziti-vody.html> >
- Biela R., 2011. Kvalita šedých vod a možnost jejich využití. Online [cit.dne 17-7-2012] Dostupné z WWW: <<http://voda.tzb-info.cz/8097-kvalitasedych-vod-a-moznost-jejich-vyuziti>>.
- Binzdar J., Janda V., Jeníček P., Strnadova N., Růžickova I., 2009. Základy úpravy a čištění vod. Praha: Vysoká škola chemicko technologická v Praze. 251s. ISBN 978-80-7080-729-3
- Boari G., Mancini M. I., Trulli E., 1997. Technologies for water and wastewater treatment. Università degli Studi della Basilicata Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell 'Ambiente Potenza, Italy. CIHEAM - Options Mediterraneennes. pp 262-287
- Buchanan J. R., Seabloom R. W., 2004. Aerobic Treatment of Wastewater and Aerobic Treatment Units. University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management. pp 22
- Bumerl M., 2003. HYDROLOGIE. Učební text pro studenty 3. ročníku SOŠ OTŽP Veselí nad Lužnicí. 56s.
- Cazurra T., 2008. Water reuse of south Barcelona's wastewater reclamation plant. Desalination 218. pp. 43-51
- Cloern E. J., Krantz T., Hogan C. M., Duffy E. J., 2007. "Eutrophication." In: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). Online [cit.dne 23-4-2011]. Dostupné z WWW: < <http://www.eoearth.org/article/Eutrophication>>

Coleman J., Hench K., Garbutt K., Sexstone A., Bissonnette G., Skousen J., 2001. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. *Water, Air and Soil Pollution*. 128. pp 283-295

Černá K., Martínek P., Verner S., 2003. Vodohospodářská bilance za rok 2002. Zpráva o hodnocení vypouštění vod pro území ve správě Povodí Labe, státní podnik za rok 2002. Odbor péče o vodní zdroje. Hradec Králové. 28s. Online [cit.dne 13-4-2012] Dostupné z WWW: <[http://www.pla.cz/planet/public/dokumenty/VH\\_bilance/2002/VHB\\_Mnozstvi%20VYP\\_2002\\_01.pdf](http://www.pla.cz/planet/public/dokumenty/VH_bilance/2002/VHB_Mnozstvi%20VYP_2002_01.pdf)>

Dobrá P., 2010. Jak šetřit vodou v domácnosti i na zahradě. Online [cit.dne 19-7-2012] Dostupné z WWW: < <http://www.bio-info.cz/zijte-bio/jak-setrit-vodou-v-domacnosti-i-na-zahrade>>

Dohanyos M., 2008. Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace. Online.[cit.dne 14-5-2012] Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.

Dohanyos M., Koller J., Strnadova N., 2007. Čištění odpadních vod. Praha: Vysoká škola chemicko technologická v Praze. 177s. ISBN 80-7080-207-3

Důsledný M., 2011. Jak šetřit vod(o)u? Online [cit.dne 21-7-2012] Dostupné z WWW :< <http://greenaction.cz/receptar/jak-setrit-vodou.html>>

Dvořáková D., 2007. Využívání dešťové vody (II) - možnosti použití dešťové vody a části zařízení. Kvalita dešťové vody a její čištění. Online [cit.dne 19-7-2012] Dostupné z WWW: < <http://www.tzb-info.cz/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>>

Food and Agricultural Organisation (FAO), 2006. Wastewater Treatment. Online [cit.dne 27-4-2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e06.htm#TopOfPage>>

Fuka T., 1997. Chemické metody čištění odpadních vod. 1. vydání. 48s. ISBN 80-902186-3-5

Herle J., Bareš P., 1990. Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 208s. ISBN 80-03-00587-6

Hlavinec P., Mičín J., Prax P., 2003. Stokování a čištění odpadních vod Brno: Akademické nakladatelství CERM. 283s. ISBN 80-214-2535-0

Hoinkis J., Deowan S. A., Panten V., Figoli A., Huang R. R., Drioli E., 2012. Membrane Bioreactor (MBR) Technology – a Promising Approach for Industrial Water Reuse. *Procedia Engineering*. 33. pp 234-241

Horáková M., Janda V., Koller J., Kollerová L., Koubíková J., Pokorná D., Kujalová H., Schejbal P., Smrčková S., Strnadova N., Sýkora V., 2007. Analytika vody. Praha: Vysoká škola chemicko technologická v Praze. 335s. ISBN 978-80-70-80-520-6

Hovorka F., 2005. Technologie chemických látek. 1 vydavatelství. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 181s. ISBN 80-7080-588-9

Huang M., Li Y., Gu G., 2010. Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. *Desalination*. 262. pp 36-42

Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991. Biologické čištění odpadních vod. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 468s. ISBN 80-03-00611-2

Jickells, T., 2005. External inputs as contributor to eutrophication problems. Journal of Sea Research. 54. pp 58-69

Kayombo S., Mbwette T.S.A., Katima J.H.Y., Ladegaard N., Jorgensen S.E., 2005. Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual, WSP and CW Research Project, College of Engineering and Technology. Online [cit.dne 10-5-2012] Dostupné z WWW:<[http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Water&Sanitation/PondsAndWetlands\\_Design\\_Manual.pdf](http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Water&Sanitation/PondsAndWetlands_Design_Manual.pdf)>

Kolesár K., 2010. Dešťová voda: Využijte ji ve svém rodinném domě. Online [cit.dne 19-7-2012] Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/bydleni/domacnost/destova-voda-vyuzijte-ji-ve-svem-rodinnem-dome.aspx>>

Kopačková D., 2011. Úspora vody na splachování v revolučním řešení. Online [cit.dne 17-7-2012] Dostupné z WWW: < <http://voda.tzb-info.cz/zarizovaci-predmety/8126-uspora-vody-na-splachovani-v-revolucnim-reseni>>

Kouřil M., 2006. Kořenové čistírny: alternativní způsob nakládání s odpadními vodami (informační brožura pro obce, soukromníky a zemědělce), Daphne ČR – Institut aplikované ekologie. 24s. ISBN 80-86778-22-3

Kraume K., Bracklow U., Vocks M., Drews A., 2005. Nutrients removal in MBRs for municipal wastewater treatment. Water Science Technology. 51. (6-7) pp 391 - 402

Kurbiel J., Zelin K., Rybicki S. M., 1996. Implementation of the Cracow municipal wastewater reclamation system for industrial water reuse. Desalination 106, pp. 183-193

Lofrano G., Brown J., 2010. Wastewater management through the ages: A history of mankind. Science of the Total Environment. 408. pp 5254-5264.

Malý J., Malá J., 2006. Chemie a technologie vody. Brno: ARDEC.33s. ISBN 80-86020-50-9.

Manahan E. S., 2009. Environmental Chemistry, Ninth Edition. ISBN: 978-1-4200-5920-5. 735s

Marcos von Sperling, 2007. Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 1). 296s. ISBN 9781843391616

Melin T. B., Jefferson D., Bixio C., Thoeye W., De Wilde J., De Koning J van der Graaf, Wintgens T., 2006. Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse Desalination. 187. pp 271-282

Meneses M., Pasqualino C. J., Castells F., 2010. Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. Chemosphere 81. pp 266–272

Mottl M. J., Glazer B. T., Kaiser R. I., Meech K. J., 2007. Water and astrobiology. Chemie der Erde Geochemistry. 67. pp 253-258

Patel J., Nakhla G., Margaritis A., 2005. Optimization of Biological Nutrient Removal in a Membrane Bioreactor System. Journal of Environmental Engineering. 131(7) pp 1021-1029

- Piňos S., Bartoník A., Plotěný K., 2012. Odpadní voda je zdrojem tepelné energie, jejíž potenciál je dnes téměř nevyužíván. Online [cit.dne 17-7-2012] Dostupné z WWW: <<http://www.enviweb.cz/clanek/staveni/92148/vyuziti-energie-z-odpadnich-vod>>
- Pitter P., 2009. Hydrochemie. 4 akt. vydavatelství., Praha: Vysoká škola chemicko technologická v Praze. 592s. ISBN 978-80-7080-701-9
- Pošta J., Hejtmánková A., Just T., Růžickova I., Koller J., Dohanyos M., 2005. Čistírný odpadních vod. 1 vydavatelství., Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta. 208 s. ISBN 80-213-1366-8
- Rastogi S., Kumar A., Mehra N. K., Makhijani S. D., Manoharan A., Gangal, V., Kumar R., 2003. Development and characterization of a novel immobilized microbial membrane for rapid determination of biochemical oxygen demand load in industrial waste water. Biosensors and Bioelectronics.18. pp 23-29.
- Rothschild, L. J., Mancinelli. R. L. 2001. Life in extrémé environments. Nature. 409. pp 1092–1101.
- Ryšková L., Vespalcová R., 2011. Jak ušetřit za vodné a stočné? Řešením je dešťová voda! Online [cit.dne 22-7-2012] Dostupné z WWW :< <http://www.usporim.cz/jak-usetrit-za-vodne-a-stocne-resenim-je-destova-voda-423.html>>
- Slavičková K., Slaviček M., 2006. Vodní hospodářství obcí. 1 vydavatelství., Praha: České vysoké učení technické v Praze. 194 s. ISBN 80-01-03534-4
- Soboda J., 2003. Studijní texty předmětu: VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ. Česká zemědělská univerzita v Praze. Lesnická fakulta. Katedra vodního hospodářství. 48s
- Soboda J.,2005. Les v krajině. Regulátor vodního režimu.Online[cit.dne 9-3-2012]. Dostupné z WWW: <[http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=64&idkapitola=155](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=155)>
- Sonune A., Ghate R., 2004. Developments in wastewater treatment methods. Desalination. 167. pp 55-63
- Šálek J., Tlapák V., 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: ČKAIT. 283 s. ISBN 80-86769-74-7
- Šrámková M., Wanner J., 2010. Opětovné využití vyčištěné odpadní vody. Sborník konference Pitná voda 2010, s. 259-264. W&ET Team, Č. Budějovice. ISBN 978-80-254-6854-8
- Švehla P., Tlustoš P., Balík J., 2007. Odpadní vody. 2 vydavatelství., Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 142s. ISBN 978-80-213-1716-1
- Tansel B., 2008. New Technologies for Water and Wastewater Treatment: A Survey of Recent Patents. Recent Patents on Chemical Engineering. 1. pp 17-26
- UNEP, 2007. Global Environmental Outlook. (Chapter 4 Water). Online [cit.dne 15-3-2012]. Dostupné z WWW: <[http://www.unep.org/geo/geo4/report/04\\_Water.pdf](http://www.unep.org/geo/geo4/report/04_Water.pdf)>
- United Nations Environment Programme (UNEP)., 2002a. 'State of the Environment and Policy Perspective: 1972-2002', Global Environment Outlook 3. pp.150-179. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), Kenya

United States Environmental Protection Agency., 2000. "Tricking Filters" Wastewater Technology Fact Sheet Washington DC. Online [cit.dne 7-5-2012] Dostupné z WWW: <[http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002\\_06\\_28\\_mtb\\_trickling\\_filter.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_trickling_filter.pdf)>

Václavík V., Kyncl M., Kučerová R., Heviánková S., Bestová I., Nábělková P., 2010. Výukové texty k soutěži. Voda a životní prostředí Moravskoslezského kraje. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta. Institut environmentálního inženýrství. 104s

Viana da Silva A. M. E., Bettencourt da Silva R. J. N., Filomena M., Camoes G. F. C., 2011. Optimization of determination of chemical oxygen demand in wastewater. Analytica Chimica Acta. 699. pp 161-169.

Vigneswaran S., Sundaravadivel M., 2004. WASTEWATER RECYCLE, REUSE, AND RECLAMATION- Recycle and Reuse of Domestic. Wastewater Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) pp.1-29

Visco G., Campanella L., Nobili V., 2005. Organic carbons and TOC in waters: an overview of international norm for its measurements. Microchemical Journal. 79. pp185-191

Vítěz T., Groda B., 2008. Čištění a čistírny odpadních vod. 1 vydavatelství., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 126s. ISBN 978-80-7375-180-7

Vymazal J., 2008. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. Online [cit.dne 9-5-2012] Dostupné z WWW: <[http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene\\_clanky/cisteni\\_odpadnich\\_vod\\_v\\_korenovych\\_cistirnach.html](http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/cisteni_odpadnich_vod_v_korenovych_cistirnach.html)>

Vyrides I., Stuckey D. C., 2009. A modified method for the determination of chemical oxygen demand (COD) for samples with high salinity and low organics. Bioresource Technology. 100. pp 979-982

Winter T. C., Harvey J. W., Franke O. L., Alley W. M., 1999. Ground Water and Surface Water: A single Resource. 79s. ISBN 0-7881-8407-5

Žabička Z., 2003. Ukázka části textu z knihy Vodovod a kanalizace. 132s. ISBN: 80-86517-67-5. Online [cit.dne 8-4-2012]. Dostupné z WWW: < <http://www.garten.cz/a/cz/4809-voda-jeji-vlastnosti-a-podminky-pro-pouziti-2/>>

Žabička Z., 2005. Ukázka části textu z knihy Odvodnění staveb. 108s. ISBN: 80-7366-012-1 Online [cit.dne 17-4-2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.garten.cz/a/cz/4684-odpadni-voda-vlastnosti-a-podminky-pro-pouziti-1/>>.

**Internetové prameny:**

<http://www.vodavoda.cz/cz/o-vode/voda-pro-zivot/>

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleczech.html>

<http://www.pijtezdravouvodu.cz/o-vode/>

<http://www.pro-aqua.cz/cisteni.php>

[http://www.fs.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/BREFpotrav\\_prumysl8.rtf](http://www.fs.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/BREFpotrav_prumysl8.rtf)

<http://www.ewu-aqua.de/en/greywater.html>

[http://www.vupp.cz/czvupp/departments/odd350/06brefP4\(455-548\).pdf](http://www.vupp.cz/czvupp/departments/odd350/06brefP4(455-548).pdf)

[http://kbe.prf.jcu.cz/files/prednasky/technologie\\_zp/odvadeni\\_a\\_cisteni\\_odpadnich\\_vod\\_komplet.pdf](http://kbe.prf.jcu.cz/files/prednasky/technologie_zp/odvadeni_a_cisteni_odpadnich_vod_komplet.pdf)

<http://zmeny-klimatu.blog.cz/0906/zakladni-informace-o-vzniku-deste>

[http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=64&idkapitola=131](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=131)

**Použité právní předpisy:**

Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Sbírka zákonů. Č. 98, s. 5617-5667.

Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Sbírka zákonů. Č. 74, s. 3622

Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Sbírka zákonů. Č. 82, s. 5402-5422